

I

(Actos aprovados ao abrigo dos Tratados CE/Euratom cuja publicação é obrigatória)

REGULAMENTOS

REGULAMENTO (CE) n.º 440/2008 DA COMISSÃO

de 30 de Maio de 2008

que estabelece métodos de ensaio nos termos do Regulamento (CE) n.º 1907/2006 do Parlamento Europeu e do Conselho relativo ao registo, avaliação, autorização e restrição de substâncias químicas (REACH)

(Texto relevante para efeitos do EEE)

A COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS,

Tendo em conta o Tratado que institui a Comunidade Europeia,

Tendo em conta o Regulamento (CE) n.º 1907/2006 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 18 de Dezembro de 2006, relativo ao registo, avaliação, autorização e restrição de substâncias químicas (REACH), que cria a Agência Europeia das Substâncias Químicas, que altera a Directiva 1999/45/CE e revoga o Regulamento (CEE) n.º 793/93 do Conselho e o Regulamento (CE) n.º 1488/94 da Comissão, bem como a Directiva 76/769/CEE do Conselho e as Directivas 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE e 2000/21/CE da Comissão ⁽¹⁾, nomeadamente o n.º 3 do artigo 13.º,

Considerando o seguinte:

(1) Nos termos do Regulamento (CE) n.º 1907/2006, devem adoptar-se métodos comunitários para o ensaio de substâncias, sempre que tais métodos sejam necessários à produção de informações sobre as propriedades intrínsecas das substâncias.

(2) A Directiva 67/548/CEE do Conselho, de 27 de Junho de 1967, relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas respeitantes à classificação, embalagem e rotulagem das substâncias perigosas ⁽²⁾ estabelece, no seu anexo V, métodos para a determinação das propriedades físico-químicas, da toxicidade e da ecotoxicidade das substâncias e preparações. O anexo V da Directiva 67/548/CEE foi revogado pela Directiva 2006/121/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, com efeitos a partir de 1 de Junho de 2008.

⁽¹⁾ JO L 396 de 30.12.2006, p. 1. Rectificação no JO L 136 de 29.5.2007, p. 3.

⁽²⁾ JO 196 de 16.8.1967, p. 1. Directiva com a última redacção que lhe foi dada pela Directiva 2006/121/CE do Parlamento Europeu e do Conselho (JO L 396 de 30.12.2006, p. 850). Rectificação no JO L 136 de 29.5.2007, p. 281.

(3) Os métodos de ensaio constantes do anexo V da Directiva 67/548/CEE devem ser incorporados no presente regulamento.

(4) O presente regulamento não exclui a utilização de outros métodos de ensaio, desde que a mesma seja conforme com o n.º 3 do artigo 13.º do Regulamento (CE) n.º 1907/2006.

(5) Os princípios da substituição, redução e aperfeiçoamento da utilização de animais em procedimentos devem ser plenamente tidos em conta na concepção dos métodos de ensaio, nomeadamente sempre que se tornem disponíveis métodos adequados, validados para substituir, reduzir ou aperfeiçoar a experimentação com animais.

(6) As disposições do presente regulamento estão em conformidade com o parecer do Comité instituído pelo artigo 133.º do Regulamento (CE) n.º 1907/2006,

ADOPTOU O PRESENTE REGULAMENTO:

Artigo 1.º

Os métodos de ensaio a aplicar para os fins do Regulamento (CE) n.º 1907/2006 são os estabelecidos no anexo do presente regulamento.

Artigo 2.º

A Comissão reexaminará, quando pertinente, os métodos de ensaio constantes do presente regulamento, com o objectivo de substituir, reduzir ou aperfeiçoar os ensaios com vertebrados.

Artigo 3.º

Todas as referências ao anexo V da Directiva 67/548/CEE devem entender-se como referências ao presente regulamento.

É aplicável a partir de 1 de Junho de 2008.

Feito em Bruxelas, em 30 de Maio de 2008.

Artigo 4.º

O presente regulamento entra em vigor no dia seguinte ao da sua publicação no *Jornal Oficial da União Europeia*.

Pela Comissão

Stavros DIMAS

Membro da Comissão

ANEXO

PARTE A: MÉTODOS PARA A DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

ÍNDICE

A.1.	TEMPERATURA DE FUSÃO/CONGELAÇÃO	4
A.2.	TEMPERATURA DE EBULIÇÃO	14
A.3.	DENSIDADE RELATIVA	21
A.4.	PRESSÃO DE VAPOR	26
A.5.	TENSÃO SUPERFICIAL	50
A.6.	SOLUBILIDADE EM ÁGUA	57
A.8.	COEFICIENTE DE PARTIÇÃO	67
A.9.	PONTO DE INFLAMAÇÃO	80
A.10.	INFLAMABILIDADE (SÓLIDOS)	82
A.11.	INFLAMABILIDADE (GASES)	85
A.12.	INFLAMABILIDADE (CONTACTO COM ÁGUA)	87
A.13.	PROPRIEDADES PIROFÓRICAS DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS	91
A.14.	PROPRIEDADES EXPLOSIVAS	93
A.15.	TEMPERATURA DE AUTO-IGNIÇÃO (LÍQUIDOS E GASES)	104
A.16.	TEMPERATURA DE AUTO-IGNIÇÃO RELATIVA PARA OS SÓLIDOS	106
A.17.	PROPRIEDADES OXIDANTES (SÓLIDOS)	109
A.18.	MASSA MOLECULAR MÉDIA EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE MOLES E DISTRIBUIÇÃO DA MASSA MOLECULAR EM POLÍMEROS	114
A.19.	TEOR EM POLÍMEROS DE BAIXA MASSA MOLECULAR	123
A.20.	COMPORTAMENTO DOS POLÍMEROS DA DISSOLUÇÃO/EXTRACÇÃO AQUOSA	131
A.21.	PROPRIEDADES DE COMBURÊNCIA (LÍQUIDOS)	135

A.1. TEMPERATURA DE FUSÃO/CONGELAÇÃO**1. MÉTODO**

A maior parte dos métodos descritos baseiam-se na publicação «OECD Test Guideline» (1) (normas de procedimento para testes da OCDE). Os princípios fundamentais encontram-se descritos nas referências (2) e (3).

1.1. INTRODUÇÃO

Os métodos e dispositivos descritos destinam-se a ser aplicados à determinação da temperatura de fusão de substâncias, sem quaisquer restrições no que diz respeito ao seu grau de pureza.

A selecção do método depende da natureza da substância que se pretende testar. Em consequência, o factor limitativo dependerá do facto de a substância poder ser ou não ser facilmente pulverizada, pulverizada com dificuldade, ou não poder ser mesmo pulverizada.

Para algumas substâncias considera-se mais apropriado a determinação da temperatura de congelação ou de solidificação, tendo as normas para estas determinações sido englobadas também neste método.

No caso de não se poder medir convenientemente nenhum dos parâmetros anteriores devido à existência de propriedades particulares da substância, recomenda-se a determinação de um ponto de fluidez.

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

Define-se a temperatura de fusão como sendo a temperatura à qual ocorre a transição de fase do estado sólido para o estado líquido à pressão atmosférica, correspondendo idealmente essa temperatura à temperatura de fusão.

Uma vez que a transição de fase de diversas substâncias ocorre num intervalo de temperaturas, associa-se-lhe frequentemente um intervalo de fusão.

Conversão de unidades (K para °C)

$$t = T - 273,15$$

t: temperatura de Celsius, graus Celsius (°C)

T: temperatura termodinâmica, Kelvin (K)

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Não é necessário utilizar substâncias de referência quando se está a investigar uma nova substância. Essas substâncias servem essencialmente para verificar, de vez em quando, as características de execução do método e para proporcionar a comparação com resultados obtidos com outros métodos.

Na referência (4) encontram-se enumeradas algumas substâncias de calibração.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Determina-se a temperatura (intervalo de temperaturas) da transição de fase do estado sólido para o estado líquido ou do estado líquido para o estado sólido. Na prática, enquanto se aquece/arrefece uma amostra da substância ensaiada à pressão atmosférica, determina-se as temperaturas da fase inicial de fusão/congelação e da fase final de fusão/congelação. Descrevem-se cinco tipos de métodos, designadamente o método capilar, os métodos das fases quentes, as determinações da temperatura de congelação, os métodos de análise térmica e a determinação do ponto de fluidez (desenvolvido para os derivados oleosos do petróleo).

Em alguns casos pode ser conveniente medir a temperatura de congelação em vez de se medir a temperatura de fusão.

1.4.1. Método capilar**1.4.1.1. Dispositivos para a determinação da temperatura de fusão, com banho líquido**

Coloca-se uma pequena quantidade da substância finamente triturada num tubo capilar e compacta-se fortemente. Aquece-se o tubo em simultâneo com um termómetro e ajusta-se a subida de temperatura para um valor inferior a 1 K/min durante a fusão efectiva. Determinam-se as temperaturas de fusão inicial e final.

1.4.1.2. Dispositivos para a determinação da temperatura de fusão, com bloco metálico

Conforme descrito em 1.4.1.1, com a excepção de o tubo capilar e o termómetro estarem num bloco metálico aquecido e poderem ser observados através de aberturas existentes no bloco.

1.4.1.3. Detecção por célula fotoelétrica

A amostra no tubo capilar é aquecida automaticamente num cilindro metálico. Dirige-se um feixe de luz através da substância, passando por uma abertura existente no cilindro, de modo a atingir uma célula fotoelétrica calibrada com precisão. Quando da fusão, as propriedades ópticas da maior parte das substâncias variam de opacas para transparentes. A intensidade da luz que atinge a célula fotoelétrica aumenta e envia um sinal de paragem para o indicador digital, que procede à leitura da temperatura de um termómetro de resistência de platina localizado na câmara de aquecimento. Este método não é adequado para algumas substâncias fortemente coradas.

1.4.2. Fases quentes**1.4.2.1. Barra quente de Kofler**

O método da barra quente de Kofler utiliza duas peças metálicas de condutividade térmica diferente, aquecidas electricamente, sendo a barra concebida de tal modo que o gradiente de temperatura é quase linear segundo o seu comprimento. A temperatura da barra quente pode variar desde 283 até 573 K, existindo um dispositivo especial de leitura da temperatura constituído por um cursor com um ponteiro e uma escala, concebidos especificamente para a barra. No sentido de se determinar uma temperatura de fusão, espalha-se a substância em camada fina directamente sobre a superfície da barra quente. Decorridos alguns segundos surge uma linha que separa as fases fluida e sólida. Lê-se a temperatura nesta linha ajustando o ponteiro sobre ela.

1.4.2.2. Microscópio de fusão

Existem diferentes tipos de microscópios de placas quentes para a determinação das temperaturas de fusão, utilizando-se quantidades muito pequenas de material. Na maior parte dos aparelhos mede-se a temperatura com um termopar sensível mas, por vezes, utilizam-se termómetros de mercúrio. Existe um equipamento típico para a medição da temperatura de fusão pelo método das placas quentes utilizando microscópio, o qual possui uma câmara de aquecimento contendo uma placa metálica, sobre a qual se coloca a amostra numa lâmina. O centro da placa metálica contém um orifício que permite a entrada de luz proveniente do espelho de iluminação do microscópio. Durante a utilização o compartimento é fechado com uma placa de vidro para eliminar o ar da zona da amostra.

O aquecimento da amostra é regulado com um reóstato. Para as medições de elevada precisão das substâncias opticamente anisotrópicas, pode utilizar-se luz polarizada.

1.4.2.3. Método do menisco

Este método é utilizado especificamente para as poliamidas.

A temperatura à qual ocorre o deslocamento de um menisco de óleo de silicone, encerrado entre uma placa quente e um vidro de cobertura da amostra de poliamida testada, é determinada visualmente.

1.4.3. Método para determinar a temperatura de congelação

Coloca-se a amostra num tubo de ensaio especial e leva-se a um aparelho para a determinação da temperatura de congelação. Agita-se a amostra suave e continuamente durante o arrefecimento e mede-se a temperatura em intervalos adequados. Logo que a temperatura permaneça constante durante algumas leituras considera-se que esse valor (corrigido em função do erro do termómetro) é a temperatura de congelação.

Deve evitar-se o sobrearrefecimento, mantendo-se o equilíbrio entre as fases sólida e líquida.

1.4.4. **Análise térmica**1.4.4.1. *Análise térmica diferencial (ATD)*

Esta técnica regista a diferença de temperaturas existente entre a substância e um material de referência em função da temperatura, enquanto a substância e o material de referência são submetidos ao mesmo programa de temperatura controlada. Quando a amostra sofre uma transição que implica uma variação de entalpia, essa variação é indicada por um afastamento endotérmico (fusão) ou exotérmico (congelamento), relativamente à linha de referência do registo de temperatura.

1.4.4.2. *Calorimetria de exploração diferencial (CED)*

Esta técnica regista a diferença entre a absorção de energia por uma substância e por um material de referência em função da temperatura, enquanto a substância e o material de referência são submetidos ao mesmo programa de temperatura controlada. Essa energia é a necessária para estabelecer uma diferença nula de temperatura entre a substância e o material de referência. Quando a amostra sofre uma transição que implica uma variação de entalpia, essa variação é indicada por um afastamento endotérmico (fusão) ou exotérmico (congelamento), relativamente à linha de referência do registo de fluxo de calor.

1.4.5. **Ponto de fluidez**

Este método foi desenvolvido para ser utilizado com os derivados oleosos do petróleo e é adequado para utilização apenas com substâncias de baixas temperaturas de fusão.

Após um aquecimento preliminar procede-se ao arrefecimento da amostra segundo um regime específico e faz-se a observação das suas características de fluidez em intervalos de 3 K. A temperatura mais baixa para a qual se observa movimento da substância é considerada como ponto de fluidez.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

A aplicabilidade e a precisão dos diversos métodos utilizados para a determinação da temperatura de fusão/intervalo de fusão encontram-se resumidas no quadro seguinte:

QUADRO: APLICABILIDADE DOS MÉTODOS

A. **Métodos capilares**

Método de medição	Substâncias que podem ser pulverizadas	Substâncias dificilmente pulverizadas	Intervalo de temperaturas	Precisão estimada ⁽¹⁾	Norma existente
Dispositivos com banho líquido	Sim	Só para algumas	273 a 573 K	± 0,3 K	JIS K 0064
Dispositivos com bloco metálico	Sim	Só para algumas	293 a > 573 K	± 0,5 K	ISO 1218 (E)
Deteção por célula fotoelétrica	Sim	Diversas com dispositivos de aplicação	253 a 573 K	± 0,5 K	

⁽¹⁾ Dependente do tipo de instrumento e do grau de pureza da substância.

B. Métodos das fases quentes e de congelação

Método de medição	Substâncias que podem ser pulverizadas	Substâncias dificilmente pulverizadas	Intervalo de temperaturas	Precisão estimada ⁽¹⁾	Norma existente
Barra quente de Kofler	Sim	Não	283 a > 573 K	± 1,0 K	ANSI/ASTM D 3451-76
Microscópio de fusão	Sim	Só para algumas	273 a > 573 K	± 0,5 K	DIN 53736
Método do menisco	Não	Especificamente para poliamidas	293 a > 573 K	± 0,5 K	ISO 1218 (E)
Métodos da temperatura de congelação	Sim	Sim	223 a 573 K	± 0,5 K	por ex., BS 4695

⁽¹⁾ Dependente do tipo de instrumento e do grau de pureza da substância.

C. Análise térmica

Método de medição	Substâncias que podem ser pulverizadas	Substâncias dificilmente pulverizadas	Intervalo de temperaturas	Precisão estimada ⁽¹⁾	Norma existente
Análise térmica diferencial	Sim	Sim	173 a 1 273 K	até 600 K ± 0,5 K até 1 273 K ± 2,0 K	ASTM E 537-76
Calorimetria de exploração diferencial	Sim	Sim	173 a 1 273 K	até 600 K ± 0,5 K até 1 273 K ± 2,0 K	ASTM E 537-76

⁽¹⁾ Dependente do tipo de instrumento e do grau de pureza da substância.

D. Ponto de fluidez

Método de medição	Substâncias que podem ser pulverizadas	Substâncias dificilmente pulverizadas	Intervalo de temperaturas	Precisão estimada ⁽¹⁾	Norma existente
Ponto de fluidez	Para derivados oleosos do petróleo e para substâncias oleosas	Para derivados oleosos do petróleo e para substâncias oleosas	223 a 323 K	± 3,0 K	ASTM D 97-66

⁽¹⁾ Dependente do tipo de instrumento e do grau de pureza da substância.

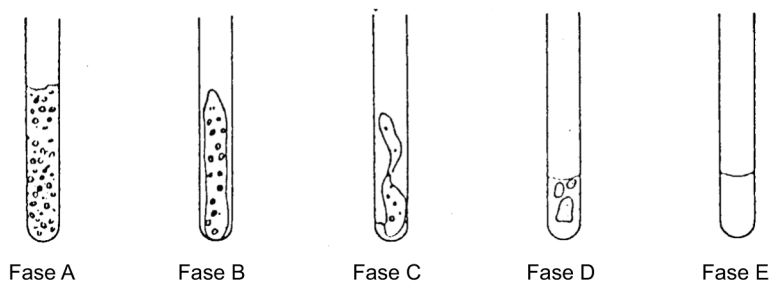
1.6. DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS

Os procedimentos de quase todos os métodos de ensaio encontram-se descritos em normas internacionais e nacionais (ver apêndice 1).

1.6.1. Métodos com tubo capilar

Quando submetidas a uma lenta subida de temperatura, as substâncias finamente pulverizadas apresentam normalmente as fases de fusão representadas na figura 1.

Figura 1



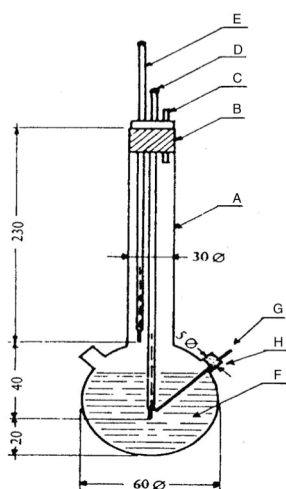
- Fase A (início da fusão): gotículas finas aderem uniformemente à parede interior do tubo capilar.
- Fase B aparece um espaço livre entre a amostra e a parede interior devido à contração da substância fundida.
- Fase C a amostra contraída inicia a queda sobre o fundo e liquefaz-se.
- Fase D forma-se um menisco completo à superfície mas uma quantidade apreciável da amostra permanece sólida.
- Fase E (fase final da fusão): não existem quaisquer partículas sólidas.

Durante a determinação da temperatura de fusão procede-se ao registo das temperaturas da fase inicial da fusão e da fase final.

1.6.1.1. Dispositivos para a determinação da temperatura de fusão com aparelho de banho líquido

A figura 2 representa um tipo de aparelho normalizado para a determinação da temperatura de fusão, feito de vidro (JIS K 0064); todas as especificações são dadas em milímetros.

Figura 2



- A: recipiente de medição
 B: rolha
 C: ventilador
 D: termómetro
 E: termómetro auxiliar
 F: banho líquido
 G: tubo capilar de vidro, de 80 a 100 mm de comprimento, $1,0 \pm 0,2$ mm de diâmetro interno, 0,2 a 0,3 mm de espessura da parede
 H: tubo lateral

Líquido do banho:

Deve escolher-se um líquido adequado. A escolha do líquido depende da temperatura de fusão que se pretende determinar; por exemplo, escolher-se-á parafina líquida para temperaturas de fusão não superiores a 473 K, óleo de silicone para temperaturas de fusão não superiores a 573 K.

Para temperaturas superiores a 523 K pode utilizar-se uma mistura constituída por três partes de ácido sulfúrico e por duas partes de sulfato de potássio (em peso). Deverão ser tomadas precauções adequadas no caso de se utilizar uma mistura deste tipo.

Termómetro

Apenas deverão ser utilizados termómetros que satisfaçam as exigências das normas indicadas a seguir ou critérios equivalentes:

ASTM E 1-71, DIN 12770, JIS K 8001.

Procedimento:

Pulveriza-se finamente a substância seca utilizando um almofariz e coloca-se no interior do tubo capilar, selado numa das extremidades, de tal modo que a altura do enchimento seja aproximadamente 3 mm após boa compactação. Para se obter uma amostra compacta uniforme o tubo capilar deverá cair verticalmente de uma altura de aproximadamente 700 mm através de um tubo de vidro e sobre um vidro de relógio.

Depois de cheio coloca-se o tubo capilar no banho, de tal modo que a parte média da ampola de mercúrio do termómetro toque no tubo capilar na parte onde se encontra a amostra. Normalmente o tubo capilar é introduzido no aparelho a uma temperatura cerca de 10 K inferior à temperatura de fusão.

Aquece-se o líquido do banho de tal modo que o aumento da temperatura seja aproximadamente 3 K/min. O líquido deverá ser agitado. Quando se atingir uma temperatura cerca de 10 K inferior à temperatura de fusão esperada, ajusta-se a subida da temperatura para um valor máximo de 1 K/min.

Cálculo:

O cálculo da temperatura de fusão efectua-se do modo seguinte:

$$T = T_D + 0,00016 (T_D - T_E) n$$

em que:

T = temperatura de fusão corrigida, em K;

T_D = leitura da temperatura no termómetro D, em K;

T_E = leitura da temperatura no termómetro E, em K;

n = número de graduações na linha do mercúrio no termómetro D na parte emergente da haste.

1.6.1.2. Dispositivos para a determinação da temperatura de fusão, com bloco metálico

Aparelho:

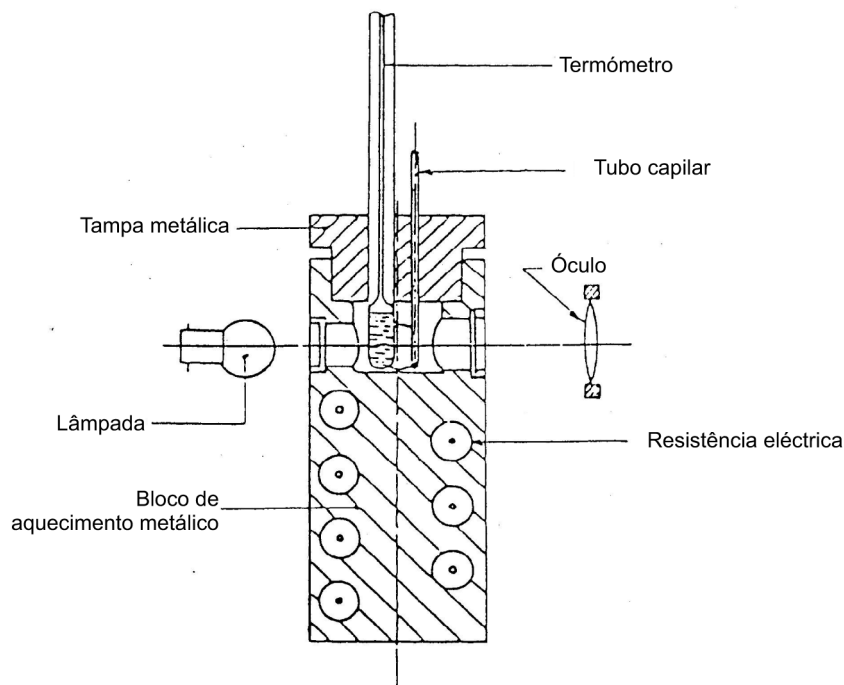
Este é constituído por:

- um bloco metálico cilíndrico, cuja parte superior é oca e forma um compartimento (ver figura 3),
- uma tampa metálica, com duas ou várias aberturas, para permitir a montagem de tubos no bloco metálico,
- um sistema de aquecimento para o bloco metálico, que pode ser, por exemplo, uma resistência eléctrica encerrada no bloco,
- um reóstato para regular a potência de entrada no caso de se utilizar aquecimento eléctrico,
- quatro janelas de vidro resistente ao calor situadas nas paredes laterais do compartimento, dispostas diametralmente segundo ângulos rectos relativamente umas às outras. Em frente de uma destas janelas monta-se um óculo para observação do tubo capilar. As outras três janelas são utilizadas para iluminar o interior do compartimento, por meio de lâmpadas,
- um tubo capilar, em vidro resistente ao calor e fechado numa extremidade (ver 1.6.1.1).

Termómetro

Ver as normas referidas em 1.6.1.1. Também se podem utilizar dispositivos de medição termoeléctrica, de precisão equivalente.

Figura 3

1.6.1.3. *Deteção por célula fotoeléctrica**Aparelho e procedimento:*

O aparelho é constituído por um compartimento metálico com um sistema de aquecimento automático. Procede-se ao enchimento de três tubos capilares conforme descrito em 1.6.1.1, os quais são depois colocados na estufa.

Utilizam-se várias variações lineares de temperatura para calibrar o aparelho e ajusta-se electricamente o aumento de temperatura adequado, segundo uma razão linear e constante pré-seleccionada. Os registadores mostram a temperatura efectiva da estufa e a temperatura da substância nos tubos capilares.

1.6.2. **Fases quentes**1.6.2.1. *Barra quente de Kofler*

Ver apêndice.

1.6.2.2. *Microscópio de fusão*

Ver apêndice.

1.6.2.3. *Método do menisco (poliamidas)*

Ver apêndice.

O esquema gradual de aquecimento próximo da temperatura de fusão deverá ser inferior a 1 K/min.

1.6.3. **Métodos para a determinação da temperatura de congelação**

Ver apêndice.

1.6.4. **Análise térmica**

1.6.4.1. *Análise térmica diferencial*

Ver apêndice.

1.6.4.2. *Calorimetria de exploração diferencial*

Ver apêndice.

1.6.5. **Determinação do ponto de fluidez**

Ver apêndice.

2. **RESULTADOS**

Em alguns casos é necessário efectuar uma correcção devida ao termómetro.

3. **RELATÓRIO**

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

- método utilizado,
- especificação exacta da substância (identificação e impurezas) e fases de purificação prévias no caso de existirem,
- uma estimativa da precisão.

Considera-se como temperatura de fusão a média de pelo menos duas medições efectuadas no intervalo de precisão estimado (ver quadros).

Se a diferença entre a temperatura na fase inicial e a temperatura na fase final da fusão estiver entre os limites de precisão do método, considera-se como temperatura de fusão o valor observado na fase final da fusão; caso contrário serão indicadas as duas temperaturas.

No caso de a substância se decompor ou sublimar antes de atingir a temperatura de fusão, indicar-se-á a temperatura para a qual se observa esse efeito.

Todas as informações e notas relevantes para a interpretação dos resultados deverão ser descritas, especialmente no que diz respeito às impurezas e ao estado físico da substância.

4. **REFERÊNCIAS**

- (1) OECD, Paris, 1981, Test Guideline 102, Decision of the Council C(81) 30 final.
- (2) IUPAC, B. Le Neindre, B. Vodar, eds. Experimental thermodynamics, Butterworths, London 1975, vol. II, p. 803-834.
- (3) R. Weissberger ed.: Technique of organic Chemistry, Physical Methods of Organic Chemistry, 3rd ed., Interscience Publ., New York, 1959, vol. I, Part I, Chapter VII.
- (4) IUPAC, Physicochemical measurements: Catalogue of reference materials from national laboratories, Pure and applied chemistry, 1976, vol. 48, p. 505-515.

Apêndice

Para pormenores técnicos adicionais é possível consultar, por exemplo, as normas seguintes:

1. Métodos capilares

1.1. Dispositivos de medição da temperatura de fusão com banho líquido

ASTM E 324-69	Standard test method for relative initial and final melting points and the melting range of organic chemicals
BS 4634	Method for the determination of melting point and/or melting range
DIN 53181	Bestimmung des Schmelzintervalles von Harzen nach Kapillarverfahren
JIS K 00-64	Testing methods for melting point of chemical products

1.2. Dispositivos para a determinação da temperatura de fusão com bloco metálico

DIN 53736	Visuelle Bestimmung der Schmelztemperatur von teilkristallinen Kunststoffen
ISO 1218 (E)	Plastics — polyamides — determination of «melting point»

2. Fases quentes

2.1. Barra quente de Kofler

ANSI/ASTM D 3451-76	Standard recommended practices for testing polymeric power coatings

2.2. Microscópio de fusão

DIN 53736	Visuelle Bestimmung der Schmelztemperatur von teilkristallinen Kunststoffen.

2.3. Método do menisco (poliamidas)

ISO 1218 (E)	Plastics — polyamides — determination of «melting point»
ANSI/ASTM D 2133-66	Standard specification for acetal resin injection moulding and extrusion materials
NF T 51-050	Résines de polyamides. Détermination du «point de fusion». Méthode du ménisque

3. Métodos para a determinação da temperatura de congelação

BS 4633	Method for the determination of crystallizing point
BS 4695	Method for Determination of Melting Point of Petroleum Wax (cooling curve)
DIN 51421	Bestimmung des Gefrierpunktes von Flugkraftstoffen, Ottokraftstoffen und Motorenbenzolen
ISO 2207	Cires de pétrole: détermination de la température de figeage
DIN 53175	Bestimmung des Erstarrungspunktes von Fettsäuren
NF T 60-114	Point de fusion des paraffines
NF T 20-051	Méthode de détermination du point de cristallisation (point de congélation)
ISO 1392	Method for the determination of the freezing point

4. Análise térmica**4.1. Análise térmica diferencial**

ASTM E 537-76	Standard method for assessing the thermal stability of chemicals by methods of differential thermal analysis
ASTM E 473-85	Standard definitions of terms relating to thermal analysis
ASTM E 472-86	Standard practice for reporting thermoanalytical data
DIN 51005	Thermische Analyse, Begriffe

4.2. Calorimetria de exploração diferencial

ASTM E 537-76	Standard method for assessing the thermal stability of chemicals by methods of differential thermal analysis
ASTM E 473-85	Standard definitions of terms relating to thermal analysis
ASTM E 472-86	Standard practice for reporting thermoanalytical data
DIN 51005	Thermische Analyse, Begriffe

5. Determinação do ponto de fluidez

NBN 52014	Échantillonnage et analyse des produits du pétrole: point de trouble et point d'écoulement limite — Monsterneming en ontleding van aardolieproducten: Troebelingspunt en vloeipunt
ASTM D 97-66	Standard test method for pour point of petroleum oils
ISO 3016	Petroleum oils — Determination of pour point

A.2. TEMPERATURA DE EBULIÇÃO

1. MÉTODO

A maior parte dos métodos descritos baseia-se nas normas de ensaio da OCDE (1). Os princípios fundamentais encontram-se descritos nas referências (2) e (3).

1.1. INTRODUÇÃO

Os métodos e dispositivos aqui descritos podem ser aplicados a líquidos e a substâncias de baixo ponto de fusão, desde que não sofram uma reacção química para os valores da temperatura de ebulição (por exemplo: auto-oxidação, rearranjo, degradação, etc.). Os métodos podem ser aplicados a substâncias líquidas puras e impuras.

Dá-se maior importância aos métodos que utilizam a detecção por célula fotoelétrica e aos métodos de análise térmica uma vez que esses métodos permitem a determinação das temperaturas de fusão e também das temperaturas de ebulição. Além disso, as medições podem ser efectuadas automaticamente.

O «método dinâmico» possui a vantagem de também poder ser aplicado à determinação da pressão de vapor e de não ser necessário corrigir o valor da temperatura de ebulição para a pressão normal (101,325 kPa) uma vez que a pressão normal pode ser ajustada durante a medição utilizando um manómetro.

Observações

A influência das impurezas na determinação da temperatura de ebulição depende bastante da natureza dessas impurezas. No caso de existirem na amostra impurezas voláteis que possam afectar os resultados, a substância deve ser purificada.

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

Define-se a temperatura de ebulição normal como sendo a temperatura para a qual a pressão de vapor de um líquido é de 101,325 kPa.

No caso de a temperatura de ebulição não ser medida à pressão atmosférica normal, a dependência da pressão do vapor em função da temperatura pode ser descrita pela equação de Clausius-Clapeyron:

$$\log p = \frac{\Delta H_v}{2,3RT} + \text{const.}$$

em que:

p = pressão de vapor da substância em pascal

ΔH_v = calor de vaporização em J mol⁻¹

R = constante universal dos gases perfeitos = 8,314 J mol⁻¹ K⁻¹

T = temperatura termodinâmica em K

A temperatura de ebulição é especificada tendo em consideração a pressão ambiente durante a medição.

Conversões

Pressão (unidades: kPa)

100 kPa = 1 bar = 0,1 MPa

(«bar» ainda é uma unidade permitida mas não recomendada)

133 Pa = 1 mm Hg = 1 Torr

(as unidades «mm Hg» e «Torr» não são permitidas)

1 atm = atmosfera padrão = 101,325 Pa

(a unidade «atm» não é permitida)

Temperatura (unidades: K)

$$t = T - 273,15$$

t: temperatura de Celsius, graus Celsius (°C)

T: temperatura termodinâmica, kelvin (K)

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Não é necessário utilizar as substâncias de referência em todos os casos quando se investiga uma nova substância. Elas deverão servir essencialmente para aferir, periodicamente, o método e para permitir a comparação com resultados obtidos com outros métodos.

Nos métodos enumerados no apêndice é possível encontrar algumas substâncias utilizadas para calibração.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Existem cinco métodos para a determinação da temperatura de ebulição (intervalo de ebulição) que se baseiam na medição da temperatura de ebulição, e existem dois métodos que se baseiam na análise térmica.

1.4.1. **Determinação utilizando o ebuliômetro**

Os ebuliômetros foram originariamente desenvolvidos para a determinação do peso molecular por elevação da temperatura de ebulição, mas também são adequados para as medições exactas da temperatura de ebulição. Existe um aparelho muito simples que se encontra descrito na norma ASTM D 1120-72 (ver apêndice). O líquido é aquecido nesse aparelho, sob condições de equilíbrio à pressão atmosférica, até entrar em ebulição.

1.4.2. **Método dinâmico**

Este método implica a medição da temperatura de recondensação do vapor por meio de um termómetro apropriado no refluxo, mantendo-se a ebulição. Neste método é possível variar a pressão.

1.4.3. **Método da destilação para a determinação da temperatura de ebulição**

Este método compreende a destilação do líquido, a medição da temperatura de recondensação do vapor e a determinação da quantidade do destilado.

1.4.4. **Método de Siwoloboff**

Aquece-se uma amostra num tubo de ensaio, que é imerso num líquido num banho aquecido. Mergulha-se no tubo de ensaio um tubo capilar fechado, contendo uma bolha de ar na parte inferior.

1.4.5. **Deteção por célula fotoelétrica**

Utilizando o princípio de Siwoloboff efectua-se medições automáticas por célula fotoelétrica das bolhas ascendentes.

1.4.6. **Análise térmica diferencial**

Esta técnica regista a diferença existente entre as temperaturas da substância e do material de referência, em função da temperatura, quando a substância e o material de referência são submetidos ao mesmo programa de temperatura controlada. Quando a amostra sofre uma transição que implica uma variação de entalpia, essa variação é indicada por um afastamento endotérmico (ebulição) em relação à linha de referência do registo de temperaturas.

1.4.7. **Calorimetria de exploração diferencial**

Esta técnica regista a diferença de absorção de energia existente entre uma substância e um material de referência, em função da temperatura, quando a substância e o material de referência são submetidos ao mesmo programa de temperatura controlada. Essa energia representa a energia necessária para estabelecer uma diferença nula de temperatura entre a substância e o material de referência. Quando a amostra sofre uma transição que implica uma alteração da entalpia, essa alteração é indicada por um afastamento endotérmico (ebulição), em relação à linha de referência do registo do fluxo do calor.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

A aplicabilidade e a precisão dos diferentes métodos utilizados para a determinação da temperatura de ebulição/intervalo de ebulição encontram-se resumidas no quadro 1.

Quadro 1

Comparação dos métodos

Método de medição	Precisão estimada	Norma existente
Ebuliómetro	$\pm 1,4$ K (até 373 K) ⁽¹⁾ ⁽²⁾ $\pm 2,5$ K (até 600 K) ⁽¹⁾ ⁽²⁾	ASTM D 1120-72 ⁽¹⁾
Método dinâmico	$\pm 0,5$ K (até 600 K) ⁽²⁾	ISO/R 918, DIN 53171, BS 4591/ /71
Processo de destilação (intervalo de ebulição)	$\pm 0,5$ K (até 600 K)	
Método de Siwoloboff	± 2 K (até 600 K) ⁽²⁾	ASTM E 537-76
Deteção por célula fotoelétrica	$\pm 0,3$ K (até 373 K) ⁽²⁾	
Análise térmica diferencial	$\pm 0,5$ K (até 600 K) $\pm 2,0$ K (até 1 273 K)	ASTM E 537-76
Calorimetria de exploração diferencial	$\pm 0,5$ K (até 600 K) $\pm 2,0$ K (até 1 273 K)	

⁽¹⁾ Esta precisão apenas é válida para um dispositivo simples, como, por exemplo, o descrito na norma ASTM D 1120-72; pode ser melhorada com ebuliómetros mais sofisticados.

⁽²⁾ Válido apenas para substâncias puras. A utilização noutras circunstâncias deverá ser justificada.

1.6. DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS

Os procedimentos de alguns destes métodos encontram-se descritos em normas internacionais e nacionais (ver apêndice).

1.6.1. **Ebuliómetro**

Ver apêndice.

1.6.2. **Método dinâmico**

Ver o método de ensaio A.4 para a determinação da pressão de vapor.

Regista-se a temperatura de ebulição observada para um valor da pressão aplicada de 101,325 kPa.

1.6.3. **Processo da destilação (intervalo de ebulição)**

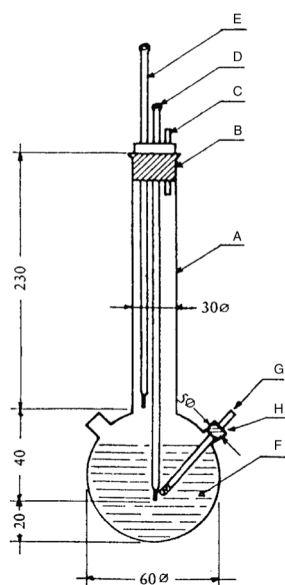
Ver apêndice.

1.6.4. **Método de Siwoloboff**

Aquece-se a amostra num aparelho para a determinação da temperatura de fusão num tubo de ensaio com um diâmetro de aproximadamente 5 mm (figura 1).

A figura 1 representa um tipo de aparelho normalizado para a determinação das temperaturas de fusão e de ebulição (JIS K 0064) (o material é vidro e todas as especificações são em milímetros).

Figura 1



- A: Recipiente de medida
 B: Rolha
 C: Respiradouro
 D: Termómetro
 E: Termómetro auxiliar
 F: Líquido do banho
 G: Tubo de ensaio, diâmetro exterior com o máximo de 5 mm; contendo um tubo capilar com o comprimento aproximado de 100 mm, diâmetro interior de aproximadamente 1 mm e espessura da parede compreendida aproximadamente entre 0,2 e 0,3 mm
 H: Tubo lateral

Coloca-se no tubo de ensaio um tubo capilar (capilar para a determinação do ponto de ebulição), o qual se encontra fechado a cerca de 1 cm acima da sua extremidade inferior. Adiciona-se a substância que se pretende testar de modo a que a parte fechada do capilar fique abaixo da superfície do líquido. O tubo de ensaio que contém o capilar para a determinação do ponto de ebulição é preso ao termómetro com uma fita de borracha ou fixado lateralmente com um suporte (ver figura 2).

Figura 2

Princípio de Siwoloboff

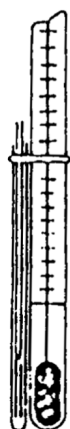
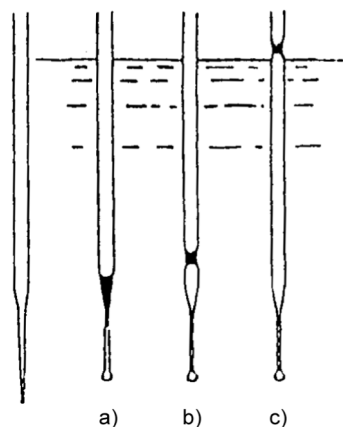


Figura 3

Princípio modificado



Escolhe-se o líquido do banho de acordo com a temperatura de ebulição. Para temperaturas até 573 K é possível utilizar óleo de silicone. A parafina líquida apenas pode ser utilizada até 473 K. O aquecimento do líquido do banho deve ser ajustado de modo a que a subida de temperatura seja de 3 K/minuto inicialmente. O líquido do banho deve ser agitado. Quando a temperatura atinge cerca de 10 K abaixo da temperatura de ebulição esperada, reduz-se o aquecimento de tal modo que o aumento de temperatura não ultrapasse 1 K/minuto. Ao aproximar-se a temperatura de ebulição, observa-se a formação de bolhas que emergem rapidamente do capilar utilizado para a determinação do ponto de ebulição.

A temperatura de ebulição é a temperatura para a qual, face a um arrefecimento momentâneo, cessa a corrente de bolhas e o fluido inicia repentinamente a subida no capilar. A leitura correspondente efectuada no termómetro é a temperatura de ebulição da substância.

De acordo com o princípio modificado (figura 3) determina-se a temperatura de ebulição num capilar para a determinação da temperatura de fusão. O capilar é distendido até se obter uma ponta fina com cerca de 2 cm de comprimento (a) e aspira-se uma pequena quantidade da amostra. Fecha-se por fusão a extremidade aberta do capilar de tal modo que na extremidade fique uma pequena bolha de ar. Enquanto se aquece o aparelho para a determinação da temperatura de fusão, a bolha de ar expande-se (b). A temperatura de ebulição corresponde à temperatura para a qual o tampão dessa substância atinge o nível da superfície do líquido do banho (c).

1.6.5. **Detecção por célula fotoelétrica**

A amostra é aquecida num tubo capilar no interior de um bloco metálico aquecido.

Pelos orifícios existentes no bloco, é enviado um feixe de luz através da substância para uma célula fotoelétrica calibrada com precisão.

Durante o aumento da temperatura da amostra emergem bolhas de ar simples provenientes do capilar de ebulição. Ao atingir-se a temperatura de ebulição o número de bolhas aumenta fortemente. Isto provoca uma alteração na intensidade da luz registada pela célula fotoelétrica, que envia um sinal de paragem transmitido para o indicador que efectua a leitura da temperatura num termómetro de resistência de platina localizado no bloco.

Este método é especialmente útil, uma vez que permite determinações de valores inferiores à temperatura ambiente e até 253,15 K (– 20°C) sem qualquer modificação no aparelho. Apenas é necessário colocar o instrumento num banho de arrefecimento.

1.6.6. **Análise térmica**

1.6.6.1. *Análise térmica diferencial*

Ver apêndice.

1.6.6.2. *Calorimetria de exploração diferencial*

Ver apêndice.

2. **RESUMIDOS**

Para pequenos desvios em relação à pressão normal (máximo ± 5 kPa), as temperaturas de ebulição são corrigidas para o valor T_n pela equação de conversão de Sidney Young:

$$T_n = T + (f_T \times \Delta p)$$

em que:

$$\Delta p = (101,325 - p) \text{ [atenção ao sinal]}$$

p = pressão medida em kPa

f_T = taxa de variação da temperatura de ebulição com a pressão em K/kPa

T = temperatura de ebulição medida em K

T_n = temperatura de ebulição corrigida para a pressão normal, em K

Os factores para a correcção da temperatura, o valor f_T e as equações para a sua aproximação estão descritos nas normas internacionais e nacionais anteriormente referidas para diversas substâncias.

Por exemplo, o método DIN 53171 refere as seguintes correcções aproximadas para solventes incorporados em tintas:

Quadro 2

Temperatura — factores de correcção f_T

Temperatura T (K)	Factor de correcção f_T (K/kPa)
323,15	0,26
348,15	0,28
373,15	0,31
398,15	0,33
423,15	0,35
448,15	0,37

Temperatura T (K)	Factor de correcção f_T (K/kPa)
473,15	0,39
498,15	0,41
523,15	0,44
548,15	0,45
573,15	0,47

3. RELATÓRIO

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

- método utilizado,
- especificação exacta da substância (identificação e impurezas) e fases prévias de purificação, se for caso disso,
- uma estimativa da precisão.

Estabelece-se que a temperatura de ebulição é a média de pelo menos duas medições situadas no intervalo de precisão estimada (ver quadro 1).

As temperaturas de ebulição medidas e os seus valores médios deverão ser especificados e os valores da pressão para os quais se efectuaram as medições deverão ser apresentados em kPa. Preferencialmente a pressão deverá ser próxima da pressão atmosférica normal.

Todas as informações e notas relevantes para a interpretação de resultados deverão ser apresentadas, especialmente no que diz respeito às impurezas e estado físico da substância.

4. REFERÊNCIAS

- (1) OECD, Paris, 1981, Test Guideline 103, Decision of the Council C(81) 30 final.
- (2) IUPAC, B. Le Neindre, B. Vodar, eds. Experimental thermodynamics, Butterworths, London, 1975, vol. II.
- (3) R. Weissberger ed.: Technique of organic chemistry, Physical methods of organic chemistry, 3rd ed., Interscience Publ., New York, 1959, vol. I, Part I, Chapter VIII.

Apêndice

Para pormenores técnicos adicionais é possível consultar, por exemplo, as normas seguintes:

1. **Ebuliómetro**

1.1 Dispositivos de medição da temperatura de fusão com banho líquido

ASTM D 1120-72 Standard test method for boiling point of engine anti-freezes

2. **Processo de destilação (intervalo de ebulição)**

ISO/R 918	Test Method for Distillation (Distillation Yield and Distillation Range)
BS 4349/68	Method for determination of distillation of petroleum products
BS 4591/71	Method for the determination of distillation characteristics
DIN 53171	Lösungsmittel für Anstrichstoffe, Bestimmung des Siedeverlaufes
NF T 20-608	Distillation: détermination du rendement et de l'intervalle de distillation

3. **Análise térmica diferencial e calorimetria de exploração diferencial**

ASTM E 537-76	Standard method for assessing the thermal stability of chemicals by methods of differential thermal analysis
ASTM E 473-85	Standard definitions of terms relating to thermal analysis
ASTM E 472-86	Standard practice for reporting thermoanalytical data
DIN 51005	Thermische Analyse: Begriffe

A.3. DENSIDADE RELATIVA

1. MÉTODO

Os métodos descritos baseiam-se nas Normas de Ensaio da OCDE (1). Os princípios fundamentais encontram-se na referência (2).

1.1. INTRODUÇÃO

Os métodos descritos para a determinação da densidade relativa são aplicáveis a substâncias sólidas e a substâncias líquidas, sem qualquer restrição no que diz respeito ao seu grau de pureza. Os diversos métodos utilizáveis encontram-se resumidos no quadro 1.

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

A densidade relativa D_{4}^{20} de um sólido ou de um líquido é a razão entre a massa de um determinado volume da substância que se pretende testar, à temperatura de 20 °C, e a massa de igual volume de água, à temperatura de 4 °C. A densidade relativa não tem dimensões.

A densidade, ρ , de uma substância é o quociente entre a massa, m , e o seu volume, v .

A densidade, ρ , é dada, em unidades do SI, em kg/m^3 .

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA (1) (3)

Não é necessário utilizar substâncias de referência em todos os casos quando se está a investigar uma nova substância. Essas substâncias servem essencialmente para verificar, de vez em quando, a calibração do método e para proporcionar a comparação com resultados obtidos com outros métodos.

1.4. PRINCÍPIO DOS MÉTODOS

Recorre-se à utilização de quatro classes de métodos.

1.4.1. Métodos de flutuação

1.4.1.1. Hidrómetro (para substâncias líquidas)

É possível efectuar determinações rápidas e suficientemente exactas de densidade utilizando hidrómetros de flutuação, os quais permitem obter a densidade de um líquido a partir da profundidade de imersão por simples leitura de uma escala graduada.

1.4.1.2. Balança hidrostática (para substâncias líquidas e sólidas)

Pode recorrer-se à diferença entre o peso de uma amostra testada medido ao ar e num líquido adequado (por exemplo água) para se determinar a sua densidade.

No caso dos sólidos, a densidade medida é apenas representativa da amostra particular utilizada. Para a determinação da densidade de líquidos pesa-se primeiro ao ar um corpo de volume conhecido, v , e depois pesa-se mergulhado no líquido.

1.4.1.3. Método do corpo imerso (para substâncias líquidas) (4)

De acordo com este método determina-se a densidade de um líquido a partir da diferença entre os resultados da pesagem do líquido antes e após a imersão, nesse líquido, de um corpo de volume conhecido.

1.4.2. Métodos do picnómetro

Tanto para os sólidos como para os líquidos é possível utilizar picnómetros de configurações diversas e com volumes conhecidos. Calcula-se a densidade a partir da diferença em peso entre o picnómetro cheio e vazio e pelo conhecimento do seu volume.

1.4.3. **Picnómetro por comparação ao ar** (para sólidos)

Pode medir-se a densidade de um sólido de qualquer configuração, à temperatura ambiente, utilizando o picnómetro de comparação de gases. Mede-se o volume de uma substância ao ar ou num gás inerte, usando um cilindro de volume calibrado variável. Para se calcular a densidade efectua-se uma medição de massa depois da medição de volume.

1.4.4. **Densímetro oscilante** (5) (6) (7)

É possível medir a densidade de um líquido utilizando um densímetro oscilante. Utiliza-se um oscilador mecânico com a forma de um tubo em U o qual se faz vibrar à frequência de ressonância do oscilador, a qual depende da sua massa. A introdução de uma amostra altera a frequência de ressonância do oscilador. O aparelho tem de ser calibrado utilizando duas substâncias líquidas de densidades conhecidas. Essas substâncias deverão ser preferencialmente escolhidas de tal modo que as suas densidades relativas cubram o intervalo que se pretende medir.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

A aplicabilidade dos diversos métodos utilizados para a determinação da densidade relativa encontra-se resumida no quadro.

1.6. DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS

As normas apresentadas como exemplos, que devem ser consultadas para obtenção de pormenores técnicos adicionais, estão mencionadas no apêndice.

Os testes devem ser efectuados à temperatura de 20 °C e deverão ser realizadas pelo menos duas medições.

2. RESULTADOS

Ver normas.

3. RELATÓRIO

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

- método utilizado,
- especificação exacta da substância (identificação e impurezas) e fases prévias de purificação, se as houver.

A densidade relativa D_4^{20} deverá constar do relatório conforme definido em 1.2, em conjunto com o estado físico da substância ensaiada.

No relatório devem constar todas as informações e notas relevantes para a interpretação dos resultados, especialmente no que diz respeito a impurezas e ao estado físico da substância.

Quadro

Aplicabilidade dos métodos

Método de medida	Densidade		Viscosidade dinâmica máxima possível	Normas existentes
	Sólido	Líquido		
1.4.1.1. Hidrómetro		Sim	5 Pa s	ISO 387, ISO 649-2, NF T 20-050

Método de medida	Densidade		Viscosidade dinâmica máxima possível	Normas existentes
	Sólido	Líquido		
1.4.1.2. Balança hidrostática	Sim	Sim	5 Pa s 20 Pa s	ISO 1183 (A) ISO 901 e 758 DIN 53217
a) sólidos				
b) líquidos				
1.4.1.3. Método do corpo imerso	Sim	Sim	500 Pa s	ISO 3507 ISO 1183 (B), NF T 20-053 ISO 758 DIN 55990 parte 3, DIN 53243
1.4.2. Picnómetro				
a) sólidos				
b) líquidos	Sim	Sim	5 Pa s	
1.4.3. Picnómetro por comparação ao ar				
1.4.4. Densímetro oscilante		Sim		

4.

REFERÊNCIAS

- (1) OECD, Paris, 1981, Test Guideline 109, Decision of the Council C(81) 30 final.
- (2) R. Weissberger ed., Technique of Organic Chemistry, Physical Methods of Organic Chemistry, 3rd ed., Chapter IV, Interscience Publ., New York, 1959, vol. I, Part I.
- (3) IUPAC, Recommended reference materials for realization of physico-chemical properties, Pure and applied chemistry, 1976, vol. 48, p. 508.
- (4) Wagenbreth, H., Die Tauchkugel zur Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten, Technisches Messen tm, 1979, vol. II, p. 427-430.
- (5) Leopold, H., Die digitale Messung von Flüssigkeiten, Elektronik, 1970, vol. 19, p. 297-302.
- (6) Baumgarten, D., Füllmengenkontrolle bei vorgepackten Erzeugnissen — Verfahren zur Dichtebestimmung bei flüssigen Produkten und ihre praktische Anwendung, Die Pharmazeutische Industrie, 1975, vol. 37, p. 717-726.
- (7) Riemann, J., Der Einsatz der digitalen Dichtemessung im Brauereilaboratorium, Brauwissenschaft, 1976, vol. 9, p. 253-255.

Apêndice

Para obtenção de pormenores técnicos adicionais é possível consultar, por exemplo, as normas seguintes:

1. Métodos de flutuação

1.1. Hidrómetro

DIN 12790, ISO 387	Hidrómetro; instruções gerais
DIN 12791	Parte I: Hidrómetros de densidade; sua construção, ajustamento e utilização Parte II: Hidrómetros de densidade; dimensões normalizadas, designação Parte III: Utilização e teste
ISO 649-2	Objectos de vidro laboratoriais: hidrómetros de densidade para fins gerais
NF T 20-050	Produtos químicos para utilização industrial — Determinação da densidade de líquidos — Método areométrico
DIN 12793	Objectos de vidro laboratoriais: hidrómetros de resolução variável

1.2. Balança hidrostática

Para as substâncias sólidas

ISO 1183	Método A: Métodos para a determinação da densidade e para a determinação da densidade relativa de plásticos excluindo os plásticos celulares
NF T 20-049	Produtos químicos para utilização industrial — Determinação da densidade de sólidos que não sejam pós e de produtos celulares — Método da balança hidrostática
ASTM-D-792	Determinação do peso específico e da densidade de plásticos por deslocamento
DIN 53479	Testes de plásticos e de elastómeros; determinação da densidade

Para substâncias líquidas

ISO 901	ISO 758
DIN 51757	Testes de óleos minerais e de materiais afins; determinação da densidade
ASTM D 941-55, ASTM D 1296-67 e ASTM D 1481-62	
ASTM D 1298	Densidade, peso específico ou densidade relativa IPA (indicador de posição atmosférico) do petróleo bruto e de produtos derivados de petróleo líquido pelo método do hidrómetro
BS 4714	Densidade, peso específico ou densidade IPA (indicador de posição atmosférico) do petróleo bruto e de produtos derivados de petróleo líquido pelo método do hidrómetro

1.3. Método do corpo imerso

DIN 53217	Testes de tintas, de vernizes e de materiais de revestimentos análogos; determinação da densidade; método do corpo imerso

2. Métodos picnométricos

2.1. Para substâncias líquidas

ISO 3507	Picnómetros
ISO 758	Produtos químicos líquidos; determinação da densidade à temperatura de 20 °C
DIN 12797	Picnómetro de Gay-Lussac (para líquidos não voláteis que não sejam muito viscosos)

DIN 12798	Picnómetro de Lipkin (para líquidos com uma viscosidade cinemática inferior a $100,10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ à temperatura de 15 °C)
DIN 12800	Picnómetro de Sprengel (para líquidos conforme a norma DIN 12798)
DIN 12801	Picnómetro de Reischauer (para líquidos com uma viscosidade cinemática inferior a $100,10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ à temperatura de 20 °C, aplicável em particular também aos hidrocarbonetos e às soluções aquosas e bem assim aos líquidos com uma pressão de vapor superior, aproximadamente 1 bar à temperatura de 90 °C)
DIN 12806	Picnómetro de Hubbard (para líquidos viscosos de todos os tipos e que não possuam uma pressão de vapor demasiadamente elevada, aplicável particularmente também para tintas, vernizes e betumes)
DIN 12807	Picnómetro de Bingham (para líquidos, conforme a norma DIN 12801)
DIN 12808	Picnómetro de Jaulmes (em particular para a mistura de etanol e água)
DIN 12809	Picnómetro com termómetro incorporado e tubo lateral capilar (para líquidos que não sejam muito viscosos)
DIN 53217	Testes de tintas, de vernizes e de produtos análogos; determinação da densidade com picnómetro
DIN 51757	Ponto 7: Testes de óleos minerais e de materiais afins; determinação da densidade
ASTM D 297	Secção 15: Produtos de borracha — análise química
ASTM D 2111	Método C: Compostos orgânicos halogenados
BS 4699	Método para a determinação do peso específico e da densidade de produtos derivados do petróleo (método do picnómetro bicapilar graduado)
BS 5903	Método para a determinação da densidade relativa e da densidade de produtos derivados do petróleo recorrendo ao método do picnómetro de capilar fechado
NF T 20-053	Produtos químicos para utilização industrial — Determinação da densidade de sólidos convertidos em pó e de líquidos — Método picnométrico

2.2. Para substâncias sólidas

ISO 1183	Método B: Método para a determinação da densidade e da densidade relativa dos plásticos com exclusão dos plásticos celulares
NF T 20-053	Produtos químicos para utilização industrial — Determinação da densidade de sólidos convertidos em pó e de líquidos — Método picnométrico
DIN 19683	Determinação da densidade de solos

3. Picnómetro por comparação ao ar

DIN 55990	Parte III: Prüfung von Anstrichstoffen und ähnlichen Beschichtungsstoffen; Pulverlack; Bestimmung der Dichte
DIN 53243	Anstrichstoffe; Chlorhaltige Polymere; Prüfung

A.4. PRESSÃO DE VAPOR

1. MÉTODO

A maior parte dos métodos descritos baseiam-se na publicação da OCDE (1). Os princípios fundamentais encontram-se descritos nas referências (2) e (3).

1.1. INTRODUÇÃO

Considera-se útil possuir informações preliminares sobre a estrutura, a temperatura de fusão e a temperatura de ebulição da substância para se efectuar este teste.

Não existe nenhum procedimento de medição único aplicável a todo o intervalo de pressões de vapor. Em consequência, recomendam-se diversos métodos utilizáveis para a medição da pressão de vapor para valores compreendidos entre $< 10^{-4}$ e 10^5 Pa.

Normalmente as impurezas afectam a pressão de vapor. O grau dessa influência depende muito do tipo das impurezas.

No caso de existirem na amostra impurezas voláteis que possam afectar o resultado, a substância deve ser purificada. Também se considera apropriado referir a pressão de vapor para o material técnico.

Alguns dos métodos aqui descritos utilizam aparelhos com partes metálicas; deve tomar-se este facto em consideração no caso de se testarem substâncias corrosivas.

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

Define-se a pressão de vapor de uma substância como sendo a pressão de saturação exercida sobre uma substância sólida ou líquida. Para uma situação de equilíbrio termodinâmico, a pressão de vapor de uma substância pura, é apenas função da temperatura.

A unidade de pressão do SI que se deve utilizar é o pascal (Pa).

As unidades antigamente utilizadas e os seus factores de conversão são:

1 Torr (- 1 mm Hg)	= $1,333 \times 10^2$ Pa
1 atmosfera	= $1,013 \times 10^5$ Pa
1 bar	= 10^5 Pa

A unidade de temperatura do SI é o kelvin (K).

A constante universal dos gases perfeitos é $R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

A dependência da pressão de vapor em função da temperatura é descrita pela equação de Clausius-Clapeyron:

$$\log p = \frac{\Delta H_v}{2,3RT} + \text{const.}$$

em que:

p = pressão de vapor da substância em pascal

ΔH_v = calor de vaporização da substância em J mol^{-1}

R = constante universal dos gases perfeitos em $\text{J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

T = temperatura termodinâmica em K

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Não é necessário utilizar substâncias de referência em todos os casos quando se está a investigar uma nova substância. Essas substâncias servem essencialmente para verificar, de vez em quando, a calibração do método e para proporcionar a comparação dos resultados obtidos com outros métodos.

1.4. PRINCÍPIO DOS MÉTODOS

Para a determinação da pressão de vapor propõem-se sete métodos que podem ser aplicados em diferentes intervalos de pressão de vapor. Para cada um desses métodos determina-se a pressão de vapor para várias temperaturas. Num intervalo de temperaturas limitado, o logaritmo da pressão de vapor de uma substância pura é uma função linear do inverso da temperatura.

1.4.1. Método dinâmico

No método dinâmico mede-se a temperatura de ebulição referente a uma pressão específica.

Intervalo recomendado:

10^3 até 10^5 Pa

Este método tem sido recomendado também para a determinação da temperatura de ebulição normal e é útil até à temperatura de 600 K.

1.4.2. Método estático

No processo estático, determina-se a pressão de vapor estabelecida num sistema fechado em equilíbrio termodinâmico, para uma temperatura específica. Este método é adequado para sólidos e líquidos de um só componente e de multicomponentes.

Intervalo recomendado:

10 até 10^5 Pa

Este método também pode ser utilizado no intervalo de 1 a 10 Pa, com as devidas precauções.

1.4.3. Isoteniscópio

Este método normalizado é também um método estático mas normalmente não é adequado para sistemas multicomponentes. Existe informação adicional na publicação ASTM, método D-2879-86.

Intervalo recomendado:

desde 100 até 10^5 Pa

1.4.4. Método de efusão: balança de pressão de vapor

Determina-se a quantidade de substância que sai de uma célula, por unidade de tempo, através de uma abertura de dimensões conhecidas, sob condições de vácuo, de forma que o retorno da substância à célula seja desprezível (por exemplo, medindo o impulso exercido sobre uma balança sensível, pela acção de um jacto de vapor, ou medindo a perda de peso de célula).

Intervalo recomendado:

10^{-3} até 1 Pa

1.4.5. Método de efusão: por perda de peso ou por captação do vaporizado

O método baseia-se na estimativa da massa da substância de teste que se escoa por unidade de tempo numa célula de Knudsen (4) na forma de vapor, através de um micro-orifício, sob condições de ultravácuo. Pode obter-se a massa efundida de vapor determinando a perda de massa da célula ou condensando o vapor a baixa

temperatura e determinando a quantidade de substância volatilizada, recorrendo-se à análise cromatográfica. Calcula-se a pressão de vapor aplicando a relação de Hertz-Knudsen.

Intervalo recomendado:

10^{-3} a 1 Pa

1.4.6. Método de saturação de gás

Faz-se passar sobre a substância uma corrente de gás portador inerte, de tal modo que este fique saturado com o vapor daquela. A quantidade de material transportado por uma quantidade conhecida daquele gás inerte é susceptível de ser medida por recolha num colector adequado ou por recurso a uma técnica analítica. Utiliza-se depois esse material para calcular a pressão de vapor a uma determinada temperatura.

Intervalo recomendado:

10^{-4} a 1 Pa

Também se pode utilizar este método no intervalo de 1 a 10 Pa, com as precauções adequadas.

1.4.7. Rotor giratório

No manómetro de rotor giratório, o elemento de medição real é uma pequena esfera de aço que é colocada em suspensão num campo magnético e que gira a uma velocidade elevada. Calcula-se a pressão de gás, a partir da diminuição de velocidade da esfera de aço, a qual depende da pressão.

Intervalo recomendado:

10^{-4} até 0,5 Pa

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

Os diversos métodos para a determinação da pressão de vapor são comparados pelas suas características de aplicação, repetitividade, reprodutibilidade, intervalo de medição, normas existentes. Essa comparação encontra-se resumida no quadro que se segue.

Quadro

Critérios de qualidade

Método de medição	Substâncias		Repetitividade estimada ⁽¹⁾	Reprodutibilidade estimada ⁽¹⁾	Intervalo recomendado	Norma existente
	Sólido	Líquido				
1.4.1. Método dinâmico	Baixo ponto de fusão	Sim	Até 25 %	Até 25 %	10^3 Pa até 2×10^3 Pa	—
			1 a 5 %	1 a 5 %	2×10^3 Pa até 10^{-5} Pa	—
1.4.2. Método estático	Sim	Sim	5 a 10 %	5 a 10 %	10 Pa até 10^5 Pa ⁽²⁾	NFT 20-048 (5)
1.4.3. Isotenoscópio	Sim	Sim	5 a 10 %	5 a 10 %	10^2 Pa até 10^5 Pa	ASTM-D 2879-86
1.4.4. Método de efusão: balança de pressão de vapor	Sim	Sim	5 a 20 %	Até 50 %	10^{-3} Pa até 1 Pa	NFT 20-047 (6)

Método de medição	Substâncias		Repetitividade estimada ⁽¹⁾	Reprodutibilidade estimada ⁽¹⁾	Intervalo recomendado	Norma existente
	Sólido	Líquido				
1.4.5. Método de efusão: perda de peso	Sim	Sim	10 a 30 %	—	10 ⁻³ Pa até 1 Pa	—
1.4.6. Método de saturação de gás	Sim	Sim	10 a 30 %	Até 50 %	10 ⁻⁴ Pa até 1 Pa ⁽²⁾	—
1.4.7. Método do rotor giratório	Sim	Sim	10 a 20 %	—	10 ⁻⁴ Pa até 0,5 Pa	—

⁽¹⁾ Dependente do grau de pureza.

⁽²⁾ Estes métodos também podem ser utilizados no intervalo 1 a 10 Pa, com as precauções adequadas.

1.6. DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS

1.6.1. Medição dinâmica

1.6.1.1. Equipamento

O equipamento típico de medida é constituído por um recipiente de ebulição ao qual está associado um sistema de arrefecimento de vidro ou de metal (figura 1), instrumentos para a medição da temperatura e instrumentos para regular e medir a pressão. Na figura representa-se um equipamento típico de medição de vidro, resistente ao calor e composto por cinco partes:

O tubo grande com parede parcialmente dupla é constituído por uma junta normalizada, um sistema de arrefecimento, um recipiente de arrefecimento e uma entrada.

O cilindro de vidro, com uma bomba Cottrell, é montado na secção de ebulição do tubo e possui uma superfície rugosa de vidro fragmentado para evitar ressaltos durante o processo de ebulição.

A temperatura é medida com um sensor de temperatura adequado (por exemplo, um termómetro de resistência, ou um termopar) imerso no interior do equipamento até ao ponto de medida (n.º 5 da figura 1) através de uma entrada adequada (por exemplo, junta normalizada macho).

Efectuam-se as necessárias ligações ao equipamento de regulação e de medição da pressão.

A ampola, que funciona como um separador volumétrico, é ligada ao equipamento de medida por meio de um tubo capilar.

Aquece-se o recipiente de ebulição utilizando um elemento de aquecimento (por exemplo, um calorífero de cartucho) inserido no equipamento de vidro pela parte inferior. Liga-se a corrente de aquecimento necessária e regula-se através de um termopar.

A pressão de vácuo necessária, compreendida aproximadamente entre 10² Pa e 10⁵ Pa, é produzida com uma bomba de vácuo.

Utiliza-se uma válvula adequada para admissão de ar ou de azoto para regular a pressão (intervalo de medição compreendido aproximadamente entre 10² e 10⁵ Pa) e para ventilação.

Mede-se a pressão com um manómetro.

1.6.1.2. Procedimento de medição

Mede-se a pressão de vapor determinando a temperatura de ebulição da amostra para diversas pressões específicas compreendidas, grosso modo, entre 10³ e 10⁵ Pa. A existência de uma temperatura estável sob uma pressão constante significa que se atingiu a temperatura de ebulição. As substâncias espumosas não podem ser submetidas a este método de medição.

Coloca-se a substância num recipiente limpo e seco. É possível que surjam problemas com sólidos não pulverizados mas esta questão pode ser resolvida frequentemente aquecendo a água da manga de arrefecimento. Depois de se ter enchido o recipiente, veda-se o equipamento na flange e eliminam-se os gases da substância. Ajusta-se seguidamente a pressão para o valor mais baixo desejado e liga-se o aquecimento. Simultaneamente liga-se o sensor de temperatura a um registador.

Atinge-se o equilíbrio quando se regista uma temperatura de ebulição constante a uma pressão constante. É necessário tomar precauções para evitar a instabilidade durante a ebulição. Além disso pode ocorrer condensação total no sistema de arrefecimento. No caso de se determinar a pressão de vapor de sólidos de baixo ponto de fusão é necessário tomar precauções para evitar o bloqueio do condensador.

Depois de se ter registado este ponto de equilíbrio ajusta-se a pressão para um valor superior. Repete-se este processo até se atingir a pressão de 10^3 Pa (aproximadamente 5 a 10 pontos de medição na totalidade). Para verificação, os pontos de equilíbrio deverão ser repetidos para valores decrescentes da pressão.

1.6.2. **Medição estática**

1.6.2.1. *Equipamento*

O equipamento é constituído por um recipiente para a amostra, um sistema de aquecimento e um sistema de arrefecimento para regular a temperatura da amostra e um aparelho para medição da temperatura. O equipamento incorpora também instrumentos para ajustar e medir a pressão. As figuras 2a e 2b ilustram os princípios básicos envolvidos.

A câmara da amostra (figura 2a) é ligada num dos lados a uma válvula própria para alto vácuo. Ao outro lado liga-se um tubo em U contendo um fluido manométrico adequado. Uma das extremidades do tubo em U ramifica-se e vai ligar-se à bomba de vácuo, à botija de azoto ou à válvula de ventilação, e a um manómetro.

É possível utilizar um manómetro com um indicador de pressão em vez de um tubo em U (figura 2b).

No sentido de se regular a temperatura da amostra, coloca-se o recipiente da amostra com a válvula e com o tubo em U ou com o manómetro num banho que é mantido a uma temperatura constante $\pm 0,2$ K. As medições de temperatura são efectuadas na parede exterior do recipiente que contém a amostra ou no próprio recipiente.

Para fazer o vácuo no equipamento utiliza-se uma bomba de vácuo com um sistema de arrefecimento.

No método 2a mede-se a pressão de vapor da substância indirectamente, utilizando um indicador de zero. Este método leva em consideração o facto de a densidade do fluido no tubo em U se alterar no caso de a temperatura variar muito.

Os líquidos a seguir indicados são adequados para utilização como indicadores de zero para o tubo em U, dependendo do intervalo de pressão e do comportamento químico das substâncias testadas: mercúrio, óleos de silicone, ftalatos. A substância testada não deve dissolver-se perceptivelmente ou reagir com o fluido do tubo em U.

Para o manómetro o mercúrio pode ser utilizado no intervalo compreendido entre a pressão atmosférica normal e 10^2 Pa, ao passo que os óleos de silicone e os ftalatos são adequados para utilização no intervalo compreendido entre 10 Pa e 10^2 Pa. Os manómetros de membrana aquecível podem ser utilizados eventualmente para valores inferiores a 10^{-1} Pa. Existem ainda outros manómetros susceptíveis de serem utilizados para valores inferiores a 10^2 Pa.

1.6.2.2. *Procedimentos de medição*

Antes da medição todos os componentes do equipamento representado na figura 2 devem ser completamente limpos e secos.

Para o método 2a, enche-se o tubo em U com o líquido escolhido, o qual deve ser desgaseificado a temperatura elevada, antes de se fazer qualquer leitura.

Coloca-se a substância testada no equipamento o qual é depois fechado e reduz-se a temperatura o suficiente para remover os gases. A temperatura deve ser suficientemente baixa para garantir a remoção do ar mas, no caso das amostras com vários componentes, o seu valor não deve alterar a composição do material. Se necessário pode-se estabelecer o equilíbrio mais rapidamente por agitação.

A amostra pode ser sobrearrefecida, por exemplo, com azoto líquido (precauções: condensação do ar, fluido da bomba) ou com uma mistura de etanol e gelo seco. Para medições a baixa temperatura utiliza-se um banho de regulação da temperatura ligado a um sistema ultracriogénico.

Estando aberta a válvula sobre o recipiente da amostra, aplica-se o sistema de sucção durante diversos minutos para se efectuar a remoção do ar. Depois fecha-se a válvula e reduz-se a temperatura da amostra para o mais baixo nível desejado. Se necessário, deverá repetir-se diversas vezes a operação de desgaseificação.

Ao aquecer-se a amostra a pressão de vapor aumenta. Isto altera o equilíbrio do fluido no tubo em U. Para se compensar este fenómeno permite-se a entrada de azoto ou de ar no aparelho através de uma válvula, até que o indicador de pressão de fluido marque novamente zero. A pressão necessária para conseguir isto pode ser lida com um manómetro de precisão à temperatura ambiente. Esta pressão corresponde à pressão de vapor da substância para esse valor específico da temperatura medida.

O método 2b é idêntico mas a pressão de vapor é lida directamente.

A dependência da pressão de vapor em função da temperatura é determinada para pequenos intervalos adequados (aproximadamente 5 a 10 pontos de medição na totalidade) até se alcançar o máximo desejado. Para verificação deverão ser repetidas as leituras com os valores de temperatura a baixar.

No caso de os valores obtidos na repetição das leituras não coincidirem com a curva obtida para os valores crescentes da temperatura, pode ser devido às razões seguintes:

1. A amostra ainda contém ar (por exemplo, no caso dos materiais de alta viscosidade) ou contém substâncias de baixo ponto de ebulição, as quais são libertadas durante o aquecimento e podem ser removidas por sucção seguindo-se novamente um sobrearrefecimento.
2. A temperatura de arrefecimento não é suficientemente baixa. Nesse caso utiliza-se azoto líquido como agente de arrefecimento.

Se estivermos perante o caso 1 ou 2, os ensaios deverão ser repetidos.

3. A substância sofre uma reacção química no intervalo de temperatura pesquisado (por exemplo, decomposição, polimerização).

1.6.3. Isoteniscópio

Na referência 7 encontra-se uma descrição completa deste método. Na figura 3 mostra-se o princípio de funcionamento deste dispositivo de medição. Analogamente ao método estático descrito em 1.6.2, o isoteniscópio é apropriado para fazer uma investigação do tipo descrito em sólidos ou líquidos.

No caso dos líquidos, a própria substância serve como fluido no manómetro auxiliar. Coloca-se no isoteniscópio uma quantidade do líquido, suficiente para encher a ampola e o segmento curto da secção do manómetro. Liga-se o isoteniscópio a um sistema de vácuo, procede-se à evacuação do isoteniscópio e enche-se depois com azoto. Repete-se duas vezes a evacuação e a purificação do sistema para garantir a remoção do oxigénio residual. Coloca-se o isoteniscópio cheio em posição horizontal de tal modo que a amostra se espalhe segundo uma camada fina na ampola da amostra e na secção do manómetro (parte em U). Reduz-se a pressão do sistema para 133 Pa e aquece-se suavemente a amostra até ela iniciar a ebulição (remoção de gases estáveis dissolvidos). Depois coloca-se o isoteniscópio de tal modo que a amostra regresse à ampola e ao segmento curto do manómetro, ficando os dois assim completamente cheios com líquido. Mantém-se a pressão tal como para a desgaseificação; aquece-se com chama fraca a extremidade de saída da ampola da amostra até que o vapor libertado pela amostra se expanda suficientemente para deslocar parte da amostra da parte superior da ampola e do braço do manómetro para o interior da secção do manómetro do isoteniscópio, originando um espaço livre de azoto e cheio de vapor.

Depois coloca-se o isoteniscópio num banho a temperatura constante e ajusta-se a pressão do azoto até que o seu valor seja igual ao da amostra. O equilíbrio entre pressões é indicado pela secção do manómetro do isoteniscópio. Em situação de equilíbrio, a pressão de vapor do azoto é igual à pressão de vapor da substância.

No caso dos sólidos, dependendo da pressão e do intervalo de temperaturas, utilizam-se os líquidos manométricos enumerados em 1.6.2.1. O líquido manométrico isento de gases é utilizado para encher uma protuberância existente no segmento longo do isoteniscópio. Depois coloca-se na ampola o sólido que se está a estudar e desgaseifica-se a uma temperatura elevada. Depois disso inclina-se o isoteniscópio de tal modo que o líquido manométrico possa fluir para o interior do tubo em U. A medição da pressão de vapor em função da temperatura efectua-se de acordo com 1.6.2.

1.6.4. Método de efusão: balança de pressão de vapor

1.6.4.1. Equipamento

Encontram-se descritas na literatura várias versões de equipamento (1). O equipamento aqui descrito ilustra o princípio geral do método (figura 4). A figura 4 mostra os componentes principais do equipamento, consistindo num recipiente de vidro ou de aço inoxidável para alto vácuo, equipamento para produzir e medir pressão de vácuo e componentes incorporados para medir a pressão de vapor numa balança. O equipamento possui os seguintes componentes incorporados:

- um forno evaporador com flange e entrada giratória. O forno evaporador é um recipiente cilíndrico feito, por exemplo, de cobre ou de uma liga quimicamente resistente e de boa condutividade térmica. Também se pode utilizar um recipiente de vidro com uma parede de cobre. O forno possui um diâmetro de

aproximadamente 3 a 5 cm e entre 2 e 5 cm de altura. Existem entre uma e três aberturas de dimensões diferentes para a corrente de vapor. O forno é aquecido utilizando uma placa de aquecimento colocada por baixo ou uma espiral de aquecimento em torno da superfície exterior. Para se evitar que o calor seja dissipado na placa de base, liga-se o calorífero à placa de base utilizando um metal de fraca condutividade térmica (níquel/prata ou aço de cromo-níquel), por exemplo um tubo de níquel/prata ligado a uma entrada rotativa no caso de se utilizar um forno com diversas aberturas. Este sistema possui a vantagem de permitir a introdução de uma barra de cobre. Isto permite o arrefecimento exterior utilizando um banho de arrefecimento,

- no caso de a tampa do forno de cobre possuir três aberturas de diâmetros diferentes situadas a 90° umas das outras, é possível abranger diversos intervalos de pressão de vapor dentro do intervalo total de medição (aberturas com diâmetros compreendidos aproximadamente entre 0,30 e 4,50 mm). Utilizam-se as aberturas maiores para valores da pressão de vapor menores e vice-versa. Rodando o forno pode seleccionar-se a abertura desejada ou uma posição intermédia da pressão de vapor (abertura do forno/ blindagem/campânula de balança) e a corrente de moléculas é libertada ou deflectida pela abertura do forno sobre a balança. No sentido de se medir a temperatura da substância coloca-se num ponto adequado um termopar ou um termómetro de resistência,
- sobre a blindagem existe uma campânula pertencente a uma microbalança altamente sensível (ver adiante). O diâmetro da campânula da balança é de aproximadamente 30 mm. O alumínio revestido a ouro é o material adequado,
- consoante o tipo de balança, assim existem aberturas para o travessão da balança e uma abertura na blindagem para a corrente de moléculas garantindo-se a condensação completa do vapor na campânula da balança. A dissipação do calor para o exterior é garantida, por exemplo, por uma barra de cobre ligada a uma caixa de refrigeração. A barra é aplicada através da placa de base e termicamente isolada desta, por exemplo, com um tubo de aço de cromo-níquel. Mergulha-se a barra num balão de Dewar contendo azoto líquido existente sob a placa da base ou faz-se circular azoto líquido pela barra. Deste modo a caixa de refrigeração é mantida aproximadamente à temperatura de -120°C . A campânula da balança é arrefecida exclusivamente por radiação o que é satisfatório para o intervalo de pressões que se pretende pesquisar (arrefecer aproximadamente 1 hora antes do início das medições),
- a balança fica colocada sobre a caixa de refrigeração. As balanças adequadas são, por exemplo, as balanças electrónicas de dois braços altamente sensíveis (8) ou instrumentos de bobina móvel altamente sensíveis (ver «OCDE Test Guideline 104, Edição de 12 de Maio de 1981»),
- a placa da base incorpora também ligações eléctricas para termopares (ou para termómetros de resistência) e para as resistências de aquecimento,
- uma pressão de vácuo no recipiente utilizando uma bomba de vácuo parcial ou uma bomba de alto vácuo (a pressão de vácuo necessária é de aproximadamente $1 \text{ a } 2 \times 10^{-3} \text{ Pa}$, obtida após 2 horas de bombagem). Regula-se a pressão com um manómetro de ionização adequado.

1.6.4.2. Procedimento de medição

Enche-se o recipiente com a substância testada e fecha-se a tampa. A blindagem e a caixa de refrigeração deslizam, ficando colocadas sobre o forno. Fecha-se o aparelho e ligam-se as bombas de vácuo. A pressão final antes de se iniciarem as medições deverá ser de aproximadamente 10^{-4} Pa . O arrefecimento da caixa de refrigeração tem início a 10^{-2} Pa .

Uma vez alcançado o vácuo necessário, inicia-se o processo de calibração para o mais baixo valor da temperatura necessária. Ajusta-se a abertura correspondente na tampa, passando a corrente de vapor directamente através da blindagem por cima da abertura e atingindo a campânula da balança arrefecida. A campânula da balança deve ser suficientemente grande para garantir que toda a corrente conduzida através da blindagem a atinja. O jacto da corrente de vapor actua como uma força contra a campânula da balança e as moléculas condensam na sua superfície arrefecida.

O jacto e a condensação simultânea produzem um sinal no aparelho de registo. A avaliação dos sinais fornece duas informações:

1. No equipamento agora descrito a pressão de vapor é determinada directamente a partir do jacto aplicado à campânula da balança [não é necessário conhecer o peso molecular (2)]. Ao fazer-se a avaliação das leituras deverão ser tomados em consideração factores geométricos tais como a abertura do forno e o ângulo da corrente de vapor.
2. Pode medir-se simultaneamente a massa do condensado podendo calcular-se a partir daí a velocidade de evaporação. Também se pode calcular a pressão de vapor a partir da velocidade de evaporação e do peso molecular recorrendo à equação de Hertz (2)

$$p = G \sqrt{\frac{2 \pi R T \times 10^3}{M}}$$

em que:

- G = velocidade de evaporação ($\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-2}$)
M = massa molar (g mol^{-1})
T = temperatura (K)
R = constante universal dos gases perfeitos ($\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$)
p = pressão de vapor (Pa)

Depois de se ter alcançado o vácuo necessário inicia-se a série de medições a partir da mais baixa temperatura de medição desejada.

Para as outras medições, aumenta-se a temperatura gradualmente até se atingir o valor da temperatura máxima desejada. Depois arrefece-se novamente a amostra e pode registar-se uma segunda curva de pressão de vapor. Se os valores da segunda experiência não coincidem com os valores obtidos na primeira experiência, então é possível que a substância possa ter sofrido decomposição no intervalo de temperatura que se está a medir.

1.6.5. Método de efusão — por perda de peso

1.6.5.1. Equipamento

O equipamento de efusão é constituído pelas partes básicas seguintes:

- um tanque que pode ser termostatado e esvaziado e no qual estão localizadas as células de efusão,
- uma bomba de alto vácuo (por exemplo, uma bomba de difusão ou uma bomba turbomolecular) com manómetro de vácuo,
- um sifão, utilizando azoto líquido ou gelo seco.

Na figura 5, por exemplo, mostra-se um tanque de alumínio para vácuo, aquecido electricamente, possuindo quatro células de efusão feitas de aço inoxidável. A chapa de aço inoxidável tem uma espessura aproximada de 0,3 mm e possui um orifício de efusão com um diâmetro compreendido entre 0,2 e 1,0 mm, prendendo-se à célula de efusão através de uma tampa roscada.

1.6.5.2. Procedimento de medição

Enche-se cada célula de efusão com as substâncias de referência e de teste, fixa-se com a tampa roscada o diafragma metálico com o orifício e faz-se a pesagem de cada célula com uma precisão da ordem de 0,1 mg. Coloca-se a célula no equipamento controlado por termóstato o qual é depois esvaziado até se obter um valor inferior a um décimo da pressão esperada. Para intervalos definidos de tempo variando entre 5 e 30 horas, introduz-se ar no equipamento e determina-se a perda de massa da célula de efusão fazendo nova pesagem.

No sentido de se garantir que os resultados não são influenciados por impurezas voláteis, repete-se a pesagem da célula a intervalos definidos de tempo para verificar se a velocidade de evaporação é constante ao longo de pelo menos dois intervalos de tempo.

A pressão de vapor p na célula de efusão é dada por:

$$p = \frac{m}{KA t} \sqrt{\frac{2 \pi R T}{M}}$$

em que:

- p = pressão de vapor (Pa)
m = massa da substância que sai da célula durante o tempo t (kg)
t = tempo (s)
A = área da perfuração (m^2)
K = factor de correcção
R = constante universal dos gases perfeitos ($\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$)
T = temperatura (K)

M = massa molar (kg mol⁻¹)

O factor de correcção K depende da razão entre o comprimento e o raio do orifício do cilindro:

razão:	0,1	0,2	0,6	1,0	2,0
K:	0,952	0,909	0,771	0,672	0,514

A equação anterior pode ser escrita da forma seguinte:

$$p = E \frac{m}{t} \sqrt{\frac{T}{M}}$$

em que $E = \frac{1}{KA} \sqrt{2\pi R}$ é a constante da célula de efusão.

Esta constante E da célula de efusão pode ser determinada com substâncias de referência (2,9) recorrendo à equação seguinte:

$$E = \frac{p(r)t}{m} \sqrt{\frac{M(r)}{T}}$$

em que:

p(r) = pressão de vapor da substância de referência (Pa)

M(r) = massa molar da substância de referência (kg.mol⁻¹)

1.6.6. Método de saturação com gás

1.6.6.1. Equipamento

Para se efectuar este teste utiliza-se um equipamento típico que é constituído por diversos componentes representados na figura 6a e adiante descritos (1).

Gás inerte:

O gás portador não deve reagir quimicamente com a substância testada. Normalmente o azoto é suficiente para satisfazer essa finalidade mas, ocasionalmente, podem ser necessários outros gases (10). O gás utilizado deve ser seco (ver figura 6a, n.º 4, da legenda: sensor de humidade relativa).

Controlo de fluxo:

É necessário um sistema adequado para o controlo do gás para garantir um fluxo constante e predeterminado através da coluna do saturador.

Sistemas de captação para recolha de vapor:

Estes sistemas dependem das características da amostra particular e do método de análise escolhido. O vapor deverá ser recolhido em quantidade e de forma que permita a análise posterior. Para algumas substâncias testadas são adequados sistemas de captação contendo líquidos tais como o hexano ou o etilenoglicol. Para outras é preferível aplicar absorventes sólidos.

Em alternativa à captação de vapor e análise posterior é possível utilizar diversas técnicas analíticas tais como a cromatografia para se determinar quantitativamente a quantidade de material transportado por uma quantidade conhecida de gás portador. Adicionalmente é possível medir a perda de massa da amostra.

Permutador de calor:

Para medições a temperaturas diferentes pode ser necessário incorporar no equipamento um permutador de calor.

Coluna do saturador:

A substância a testar é depositada sob a forma de solução sobre um suporte inerte adequado. Carrega-se a coluna do saturador com o suporte revestido, devendo as dimensões daquela e o débito serem tais que se garanta a saturação completa do gás portador. A coluna do saturador deve ser controlada por termóstato. Para medições de temperaturas superiores à temperatura ambiente deve-se aquecer a região entre a coluna do saturador e o sistema de captação para evitar a condensação da substância a testar.

No sentido de reduzir o transporte de massa que ocorre por difusão pode colocar-se um tubo capilar depois da coluna do saturador (figura 6b).

1.6.6.2. *Procedimento de medição**Preparação da coluna do saturador:*

A uma quantidade adequada de suporte adiciona-se uma solução da substância a testar num solvente facilmente volátil. Dever-se-á adicionar a substância a testar em quantidade suficiente para manter a saturação durante o tempo de duração do teste. Evapora-se o solvente totalmente ao ar ou num evaporador rotativo e carrega-se a coluna do saturador com o material bem misturado. Após o controlo da amostra por termóstato faz-se passar azoto através do equipamento.

Medição:

Os sistemas de captação ou o detector incorporado são ligados à linha dos efluentes da coluna e procede-se ao registo do tempo. Verifica-se o débito no início e a intervalos regulares durante a experiência, utilizando um contador de bolhas (ou continuamente com um debitómetro).

Deve-se medir a pressão à saída do saturador. Isto pode ser feito do modo seguinte:

- a) Introduzindo um manómetro entre o saturador e os sistemas de captação (isto pode não ser satisfatório devido ao facto de aumentar o espaço morto e a superfície de adsorção); ou
- b) Determinando as quedas de pressão através do sistema de captação particular utilizado em função do débito, numa experiência separada (isto pode não ser muito satisfatório para os sistemas de captação de líquidos).

Determina-se em experiências preliminares ou por estimativa o tempo necessário para recolher a quantidade de substância a testar que é necessária para os diversos métodos de análise. Em alternativa, pode utilizar-se uma técnica analítica quantitativa (por exemplo, a cromatografia) para recolha da substância para outras análises. Antes de se calcular a pressão de vapor para uma determinada temperatura é necessário efectuar experiências preliminares para se determinar o débito máximo que saturará completamente o gás portador com o vapor da substância. Esta situação fica garantida no caso de se fazer passar o gás portador através do saturador suficientemente devagar e de tal modo que uma velocidade inferior não origine maior pressão de vapor calculada.

O método analítico específico será determinado pela natureza da substância que se pretende testar (por exemplo, gravimetria ou cromatografia gasosa).

Determina-se a quantidade de substância transportada por um volume conhecido de gás portador.

1.6.6.3. *Cálculo da pressão de vapor*

Calcula-se a pressão de vapor a partir da densidade de vapor, W/V , segundo a equação:

$$p = \frac{W}{V} \times \frac{RT}{M}$$

em que:

- p = pressão de vapor (Pa)
 W = massa da substância de teste evaporada (g)
 V = volume de gás saturado (m^3)
 R = constante universal dos gases perfeitos ($J\ mol^{-1}\ K^{-1}$)
 T = temperatura (K)
 M = massa molar da substância de teste ($g\ mol^{-1}$)

Os volumes medidos devem ser corrigidos em função das diferenças de pressão e de temperatura existentes entre o debitómetro e o saturador controlado por termóstato. No caso de o debitómetro estar localizado a jusante do sistema de captação de vapor é necessário efectuar correcções que levem em consideração quaisquer ingredientes vaporizados no sistema de captação (1).

1.6.7. Rotor giratório (8, 11, 13)

1.6.7.1. Equipamento

Pode-se recorrer à técnica do rotor giratório utilizando um viscosímetro de rotor giratório conforme se mostra na figura 8. A figura 7 representa esquematicamente a disposição experimental.

O equipamento de medida típico é constituído por uma cabeça de medição do rotor giratório colocada num invólucro termostatado com graduação de 0,1 °C). O dispositivo que contém a amostra é colocado num invólucro termostatado (com graduação de 0,01 °C) e todas as outras partes do conjunto experimental são mantidas a uma temperatura superior, para evitar a condensação. Por meio de válvulas de alto vácuo, liga-se ao sistema uma bomba de alto vácuo.

A cabeça de medição do rotor giratório é constituída por uma esfera de aço (4 a 5 mm de diâmetro) colocada num tubo. A esfera encontra-se suspensa e é estabilizada por um campo magnético, utilizando-se geralmente uma combinação de magnetos permanentes e de bobinas de controlo.

A esfera é forçada a girar por acção de campos girantes produzidos pelas bobinas. A existência de bobinas de leitura, que medem a sempre presente magnetização lateral fraca da esfera, permitem efectuar a medição da sua velocidade de rotação.

1.6.7.2. Procedimento de medição

Quando a esfera atingiu já uma determinada velocidade de rotação $v(o)$ (normalmente cerca de 400 rotações por segundo), interrompe-se o fornecimento de energia e inicia-se a desaceleração devido à fricção com o gás.

Mede-se a diminuição da velocidade de rotação em função do tempo. Uma vez que o atrito causado pela suspensão magnética é desprezível quando comparado com a fricção com o gás, a pressão p do gás é dada por:

$$p = \frac{\pi \bar{c} r \rho}{\sigma 10 t} \times \ln \frac{v(t)}{v(o)}$$

em que:

$\bar{c}$ = velocidade média das moléculas do gás

r = raio da esfera

ρ = densidade absoluta da esfera

σ = coeficiente de transferência do momento tangencial ($\sigma = 1$ para uma superfície esférica ideal de uma esfera)

t = tempo

$v(t)$ = velocidade de rotação decorrido o tempo t

$v(o)$ = velocidade de rotação inicial

Também se pode escrever esta equação do modo seguinte:

$$p = \frac{\pi \bar{c} r \rho}{10 \sigma} \times \frac{t_n - t_{n-1}}{t_n \times t_{n-1}}$$

em que t_n , t_{n-1} são os tempos necessários para a ocorrência de um número N determinado de revoluções. Estes intervalos de tempo t_n e t_{n-1} são sequenciais e $t_n > t_{n-1}$

A velocidade média $\bar{c}$ das moléculas de gás é dada por:

$$\bar{c} = \left(\frac{8 RT}{\pi M} \right)^{\frac{1}{2}}$$

em que:

T = temperatura

R = constante universal dos gases perfeitos

M = massa molar

2. RESULTADOS

A pressão de vapor obtida por quaisquer dos métodos anteriores deverá ser determinada pelo menos para dois valores de temperatura. É preferível fazer determinações para três ou vários valores de temperatura de preferência no intervalo compreendido entre 0 e 50 °C, no sentido de se verificar a linearidade da curva de pressão de vapor.

3. RELATÓRIO

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

- o método utilizado,
- a especificação exacta da substância (identificação e impurezas) e passos de purificação preliminares, se os houver,
- pelo menos dois valores de pressão de vapor e dois valores de temperatura, preferencialmente no intervalo compreendido entre 0 e 50 °C,
- todos os dados não tratados,
- uma curva do tipo $\log p$ em função de $1/T$,
- uma estimativa da pressão de vapor para as temperaturas de 20 ou 25 °C.

No caso de se observar um fenómeno de transição (variação de estado, decomposição), deverão ser acrescentados os seguintes dados informativos:

- natureza da alteração,
- temperatura à qual ocorreu essa alteração, à pressão atmosférica,
- pressão de vapor para temperaturas 10 e 20 °C inferiores à temperatura de transição e para temperaturas 10 e 20 °C superiores a essa temperatura (salvo no caso de a transição se efectuar do estado sólido para o estado gasoso).

Todas as informações e notas relevantes para a interpretação dos resultados devem constar do relatório, especialmente no que diz respeito às impurezas e ao estado físico da substância.

4. REFERÊNCIAS

- (1) OECD, Paris, 1981, Test Guideline 104, Decision of the Council C(81) 30 final.
- (2) Ambrose, D. in B. Le Neindre, B. Vodar, (Eds.): Experimental Thermodynamics, Butterworths, London, 1975, vol. II.
- (3) R. Weissberger ed.: Technique of Organic Chemistry, Physical Methods of Organic Chemistry, 3rd ed., Chapter IX, Interscience Publ., New York, 1959, vol. I, Part I.
- (4) Knudsen, M. Ann. Phys. Lpz., 1909, vol. 29, 1979; 1911, vol. 34, p. 593.
- (5) NF T 20-048 AFNOR (Sept. 85). Chemical products for industrial use — Determination of vapour pressure of solids and liquids within range from 10^{-1} to 10^{-5} Pa — Static method.

-
- (6) NF- T 20-047 AFNOR (Sept. 85). Chemical products for industrial use — Determination of vapour pressure of solids and liquids within range from 10^{-3} to 1 Pa — Vapour pressure balance method.
 - (7) ASTM D 2879-86, Standard test method for vapour pressure temperature relationship and initial decomposition temperature of liquids by isoteniscope.
 - (8) G. Messer, P. Rohl, G. Grosse and W. Jitschin. J. Vac. Sci. Technol.(A), 1987, vol. 5 (4), p. 2440.
 - (9) Ambrose, D.; Lawrenson, I.J.; Sprake, C.H.S. J. Chem. Thermodynamics 1975, vol. 7, p. 1173.
 - (10) B.F. Rordorf. Thermochemica Acta, 1985, vol. 85, p. 435.
 - (11) G. Comsa, J.K. Fremerey and B. Lindenau. J. Vac. Sci. Technol., 1980, vol. 17 (2), p. 642.
 - (12) G. Reich. J. Vac. Sci. Technol., 1982, vol. 20 (4), p. 1148.
 - (13) J.K. Fremerey. J. Vac. Sci. Technol.(A), 1985, vol. 3 (3), p. 1715.

Apêndice 1

Método por estimativa

INTRODUÇÃO

Os valores calculados da pressão de vapor podem ser utilizados:

- para se decidir qual dos métodos experimentais é o mais apropriado,
- para proporcionar uma estimativa ou um valor limite nos casos em que o método experimental não pode ser aplicado por razões técnicas (incluindo os casos em que a pressão de vapor é muito baixa),
- para auxiliar a identificar os casos em que se justifica a omissão da medição experimental devido ao facto de a pressão de vapor ser eventualmente inferior a 10^{-5} Pa à temperatura ambiente.

MÉTODO POR ESTIMATIVA

Pode avaliar-se a pressão de vapor de líquidos e de sólidos recorrendo à correlação de Watson modificada (a). O único dado experimental necessário é o ponto de ebulição normal. Este método é aplicável para um intervalo de pressões compreendido entre 10^5 e 10^{-5} Pa.

A informação pormenorizada sobre o método encontra-se descrita no «Handbook of Chemical Property Estimation Methods» (b).

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

De acordo com (b) calcula-se a pressão de vapor do modo seguinte:

$$\ln P_{vp} \approx \frac{\Delta H_{vb}}{\Delta Z_b R T_b} \left[1 - \frac{\left(3 - 2 \frac{T}{T_b} \right)^m}{\frac{T}{T_b}} - 2m \left(3 - 2 \frac{T}{T_b} \right)^{m-1} \ln \frac{T}{T_b} \right]$$

em que:

T = temperatura de trabalho

T_b = ponto de ebulição normal

P_{vp} = pressão de vapor à temperatura T

ΔH_{vb} = calor de vaporização

ΔZ_b = factor de compressibilidade (estimado a 0,97)

m = factor empírico dependente do estado físico para o valor da temperatura de trabalho

Além disso temos:

$$\frac{\Delta H_{vb}}{T_b} = K_F (8,75 + R \ln T_b)$$

em que K_F representa um factor empírico que leva em consideração a polaridade da substância. Na publicação de referência (b) encontram-se enumerados os factores K_F para diversos tipos de compostos.

É frequente encontrar dados disponíveis de valores de pontos de ebulição para valores de pressão reduzida. Num caso desses, de acordo com (b), calcula-se a pressão de vapor do modo seguinte:

$$\ln P_{vp} \approx \ln P_1 + \frac{\Delta H_{v1}}{\Delta Z_b R T_1} \left[1 - \left(3 - 2 \frac{T}{T_1} \right)^m \frac{T_1}{T} - 2m \left(3 - 2 \frac{T}{T_1} \right)^{m-1} \ln \frac{T}{T_1} \right]$$

em que T_1 representa o ponto de ebulição para o valor P_1 da pressão reduzida.

RELATÓRIO

No caso de se utilizar o método por estimativa, o relatório deverá conter documentação exaustiva sobre os cálculos.

BIBLIOGRAFIA

- (a) K.M. Watson, Ind. Eng. Chem., 1943, vol. 35, p. 398.
- (b) W.J. Lyman, W.F. Reehl, D.H. Rosenblatt. Handbook of Chemical Property Estimation Methods, Mc Graw-Hill, 1982.

Apêndice 2

Figura 1

Aparelho para a determinação da curva de pressão de vapor de acordo com o método dinâmico

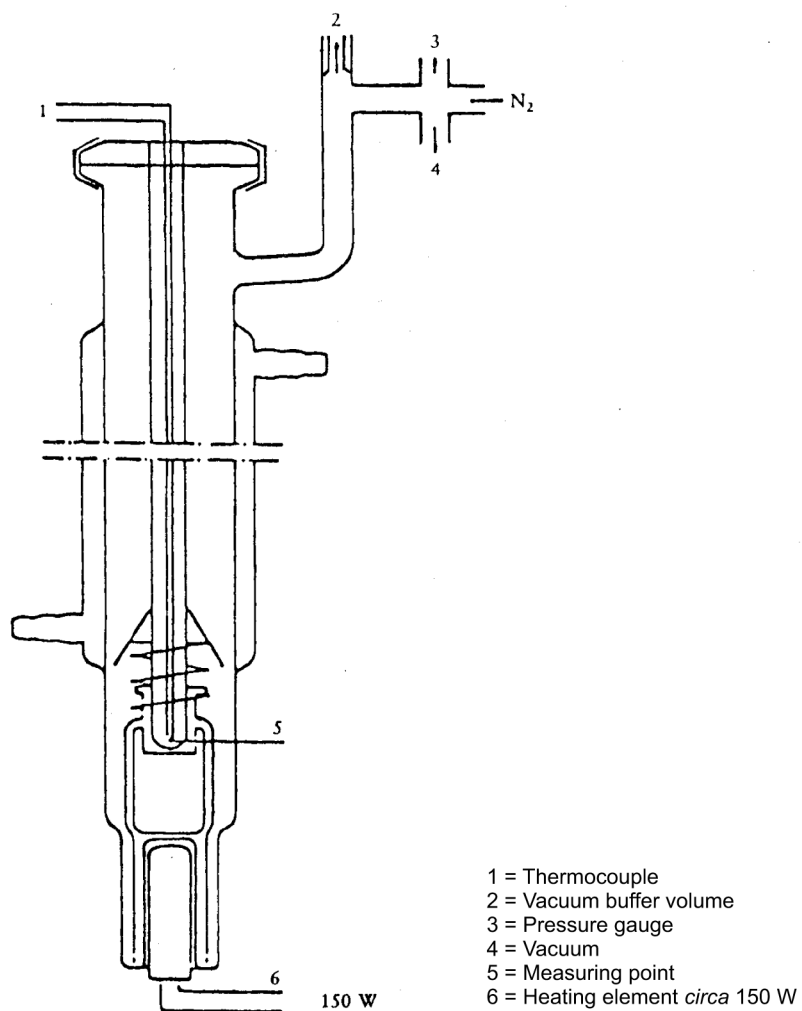
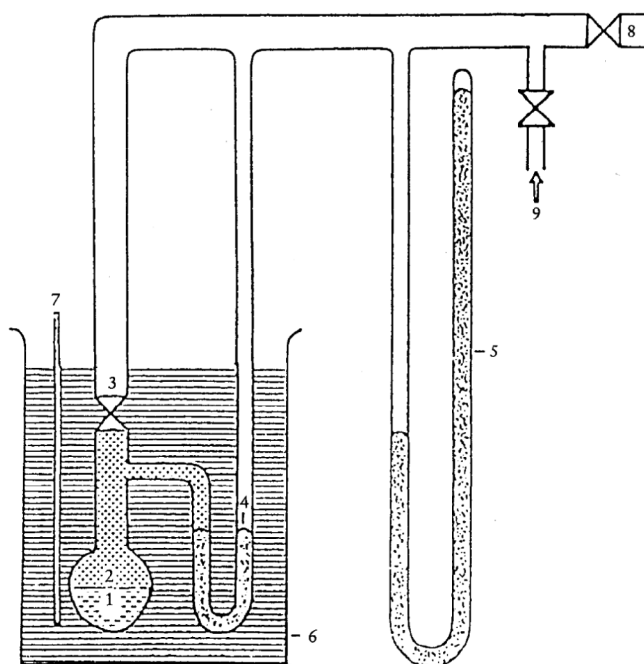


Figura 2a

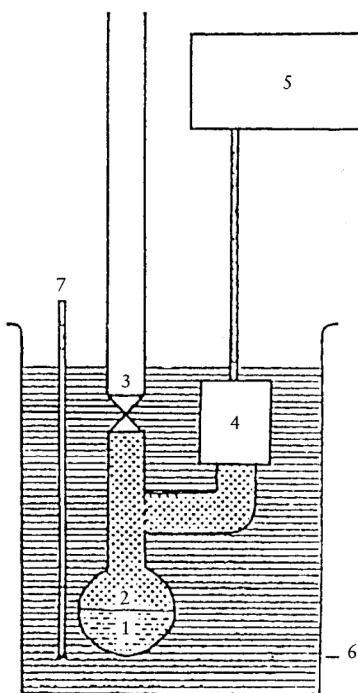
Aparelho para a determinação da curva de pressão de vapor de acordo com o método estático (utilizando um manómetro de tubo em U)



1. Substância a testar	6. Banho regulador da temperatura
2. Fase de vapor	7. Dispositivo de medição de temperatura
3. Válvula para alto vácuo	8. Bomba de vácuo
4. Tubo em U (manómetro auxiliar)	9. Ventilação
5. Manómetro	

Figura 2b

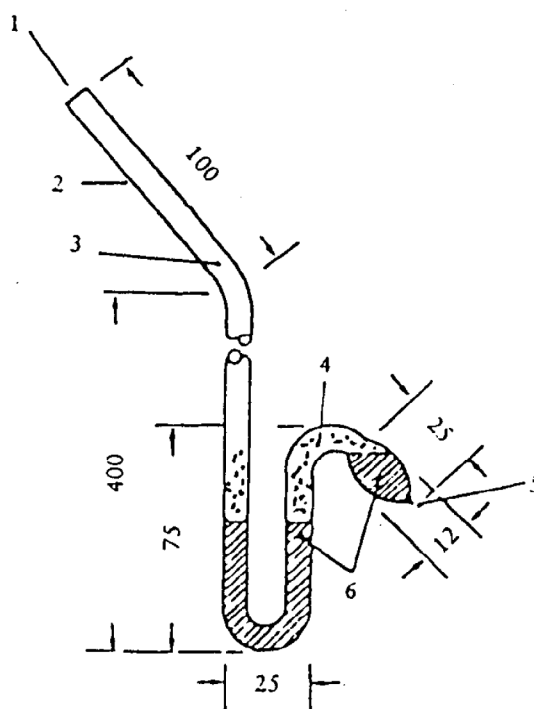
Aparelho para a determinação da curva da pressão de vapor de acordo com o método estático (utilizando um indicador de pressão)



- 1. Substância a testar
- 2. Fase de vapor
- 3. Válvula de alto vácuo
- 4. Manómetro

- 5. Indicador de pressão
- 6. Banho regulador da temperatura
- 7. Dispositivo de medição da temperatura

Figura 3

Isoteniscópio (ver referência 7)

1. Ligação ao sistema de medição e de controlo da pressão
2. Tubo com diâmetro exterior (OD) de 8 mm
3. Azoto seco no sistema de pressão
4. Vapor da amostra
5. Ponta pequena
6. Amostra de líquido

Figura 4

Aparelho para a determinação da curva da pressão de vapor de acordo com o método da balança de pressão de vapor

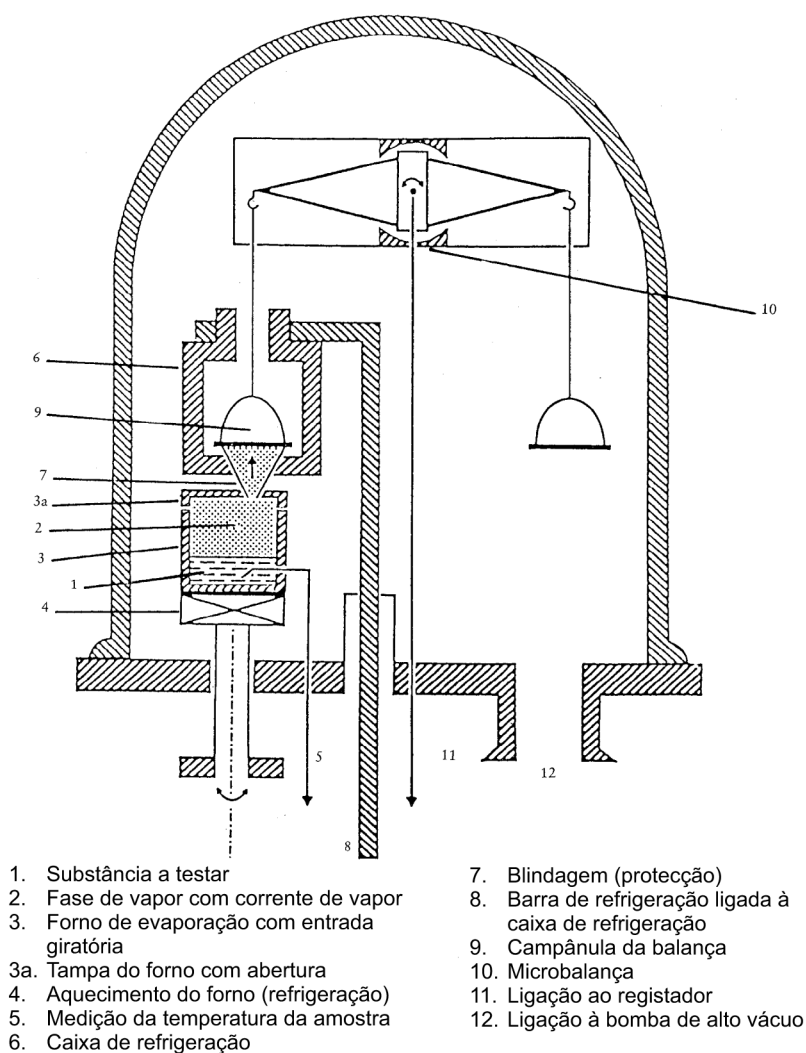
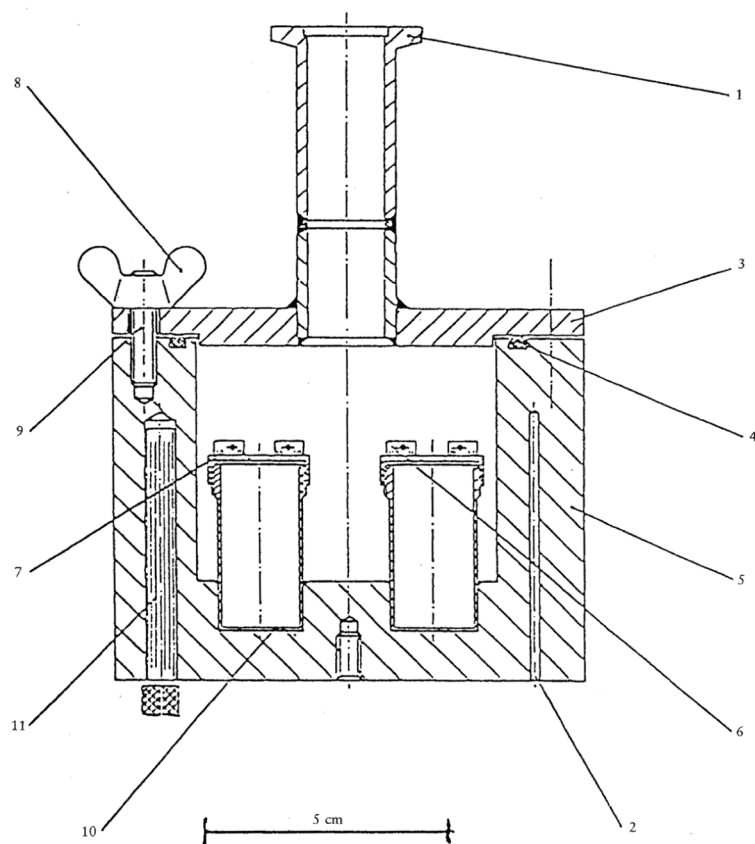


Figura 5

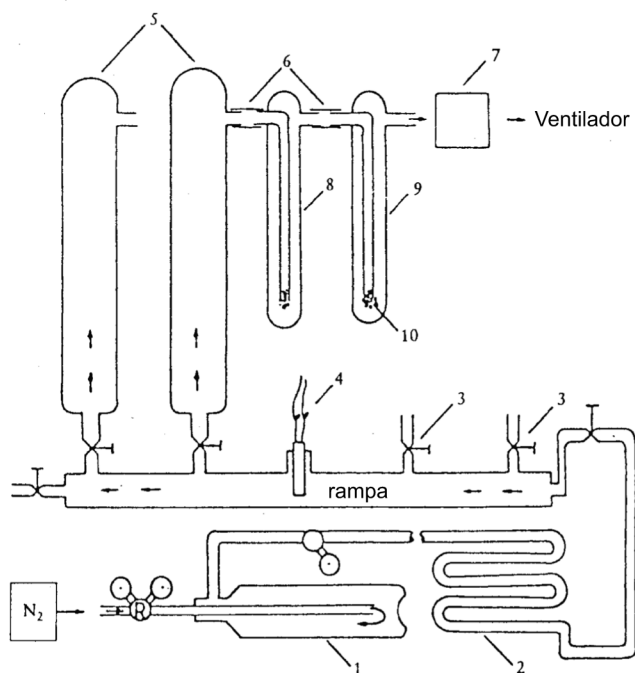
Exemplo de um aparelho para evaporação a baixa pressão utilizando o método de efusão, com uma célula de efusão com o volume de 8 cm³



1. Ligação à bomba de vácuo
2. Perfurações para o termómetro de resistência de platina ou para a medição de temperatura e controlo (2)
3. Tapa do tanque de vácuo
4. Anel do tipo-O
5. Tanque de vácuo feito de alumínio
6. Dispositivo para instalação e para remoção das células de efusão
7. Tapa roscada
8. Porca de orelhas (6)
9. Parafusos (6)
10. Células de efusão feitas de aço inoxidável
11. Cargas do calorífero (6)

Figura 6a

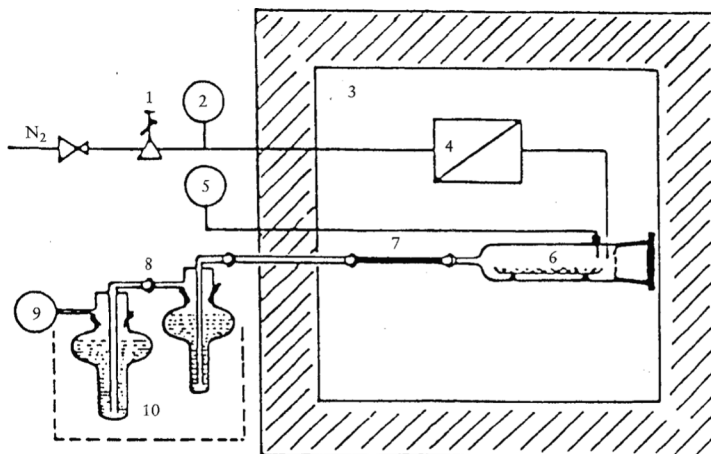
Exemplo de um sistema de circulação para a determinação da pressão de vapor pelo método da saturação com gás



- 1 = Regulador de fluxo
- 2 = Permutador de calor
- 3 = Válvulas de agulha
- 4 = Sensor de humidade relativa
- 5 = Colunas de saturação
- 6 = Juntas do tipo PTFE
- 7 = Debitómetro
- 8 = Sistema de captação (absorvedor)
- 9 = Sistema de captação de óleo
- 10 = Borbulhador de vidro calcinado

Figura 6b

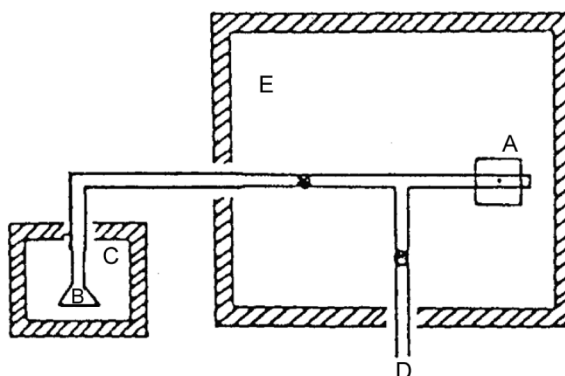
Exemplo de um sistema para a determinação da pressão de vapor pelo método da saturação com gás, com um tubo capilar colocado a seguir ao compartimento de saturação



1. Debitómetro térmico	6. Compartimento de saturação do gás
2. Manómetro	7. Capilar
3. Compartimento de temperatura controlada	8. Recipientes de absorção
4. Bobina do termostato para o gás portador	9. Aparelho para a medição de gás
5. Termómetro (Pt 100)	10. Sistema de captação frio

Figura 7

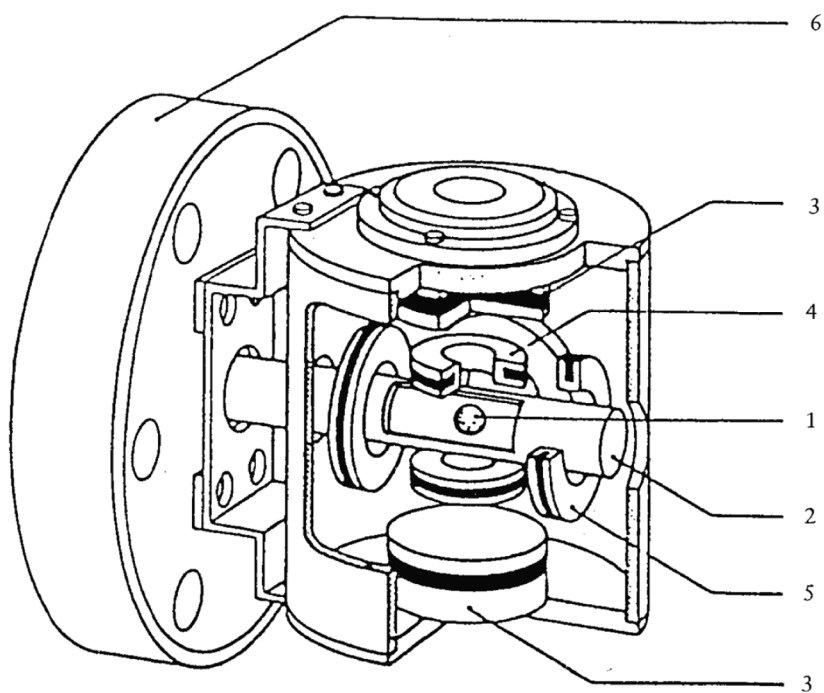
Exemplo da disposição do conjunto experimental para o método do rotor giratório



- Aparelho para a determinação da pressão de vapor
- A. Cabeça do sensor de rotor giratório
 - B. Célula da amostra
 - C. Termostato
 - D. Linha de vácuo (bomba turbo)
 - E. Termostato atmosférico

Figura 8

Exemplo de cabeça de medição de rotor giratório



1. Esfera
2. Extensão tubular esvaziada de 6
3. Magnetos permanentes (2)
4. Bobinas (2) para estabilização vertical
5. Bobinas accionadoras (4)
6. Flange de ligação

A.5. TENSÃO SUPERFICIAL**1. MÉTODO**

Os métodos descritos baseiam-se nas normas de ensaio da OCDE (1). Os princípios fundamentais encontram-se descritos na referência (2).

1.1. INTRODUÇÃO

Os métodos descritos são aplicáveis à medição da tensão superficial em soluções aquosas.

Considera-se útil possuir informações preliminares sobre a substância, relativamente a: solubilidade em água, estrutura, propriedades relativas à hidrólise e concentração crítica de formação de micelas, antes de se efectuarem estes testes.

Os métodos que se seguem são aplicáveis à maior parte das substâncias químicas, sem qualquer restrição no que diz respeito ao seu grau de pureza.

A medição da tensão superficial pelo método do tensiómetro de anel é aplicável apenas a soluções aquosas com uma viscosidade dinâmica inferior a cerca de 200 mPa s.

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

Define-se como tensão superficial a entalpia superficial livre, por unidade de área da superfície.

A tensão superficial é dada por:

N/m (unidade do SI) ou

mN/m (subunidade do SI)

1 N/m = 10³ dynes/cm

1 mN/m = 1 dine/cm no antigo e obsoleto sistema cgs

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Não é necessário utilizar substâncias de referência quando se está a investigar uma nova substância. Essas substâncias servem essencialmente para verificar, de vez em quando, a calibração do método e para proporcionar a comparação com resultados obtidos com outros métodos.

As substâncias de referência que abrangem um intervalo amplo de tensões superficiais encontram-se enumeradas nas referências (1) e (3).

1.4. PRINCÍPIO DOS MÉTODOS

Os métodos baseiam-se na medição da força máxima que é necessário exercer verticalmente sobre um colchete ou anel em contacto com a superfície do líquido que se pretende examinar colocado num recipiente, no sentido de o separar dessa superfície, ou sobre uma placa, com uma aresta em contacto com a superfície, no sentido de se remover a película que se formou.

As substâncias solúveis em água pelo menos para valores de concentração de 1 mg/l são testadas em solução aquosa para um valor único de concentração.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

Estes métodos são susceptíveis de proporcionar maior precisão do que a eventualmente necessária para a avaliação ambiental.

1.6. DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS

Prepara-se uma solução da substância em água destilada. A concentração desta solução deve atingir 90 % do valor da solubilidade de saturação da substância em água; no caso de esta concentração exceder o valor de 1 g/l, utiliza-se para os testes a concentração de 1 g/l. Não é necessário testar as substâncias cujo valor de solubilidade em água seja inferior a 1 mg/l.

1.6.1. Método da placa

Ver ISO 304 e NF T 73-060 (agentes tensioactivos: determinação da tensão superficial por remoção de películas líquidas).

1.6.2. Método do colchete

Ver ISO 304 e NF T 73-060 (agentes tensioactivos: determinação da tensão superficial por remoção de películas líquidas).

1.6.3. Método do anel

Ver ISO 304 e NF T 73-060 (agentes tensioactivos: determinação da tensão superficial por remoção de películas líquidas).

1.6.4. Método do anel harmonizado pela OCDE

1.6.4.1. Aparelho

Os tensiómetros comercialmente disponíveis são adequados para esta medição. São constituídos pelos elementos seguintes:

- mesa de amostra móvel,
- sistema de medição de força,
- corpo para medição (anel),
- recipiente de medição.

1.6.4.1.1. Mesa de amostra móvel

Utiliza-se a mesa de amostra móvel como suporte para o recipiente de medição de temperatura controlada que contém o líquido que se pretende testar. A sua montagem faz-se num suporte em conjunto com o sistema de medição de força.

1.6.4.1.2. Sistema de medição de força

O sistema de medição de força (ver figura) fica colocado sobre a mesa da amostra. O erro de medição de força não deverá exceder $\pm 10^{-6}$ N, correspondente a um erro limite de $\pm 0,1$ mg numa medição de massa. Em muitos casos, a escala dos tensiómetros comercialmente disponíveis é calibrada em mN/m, de modo que a tensão superficial pode ser lida directamente em mN/m, com uma precisão de 0,1 mN/m.

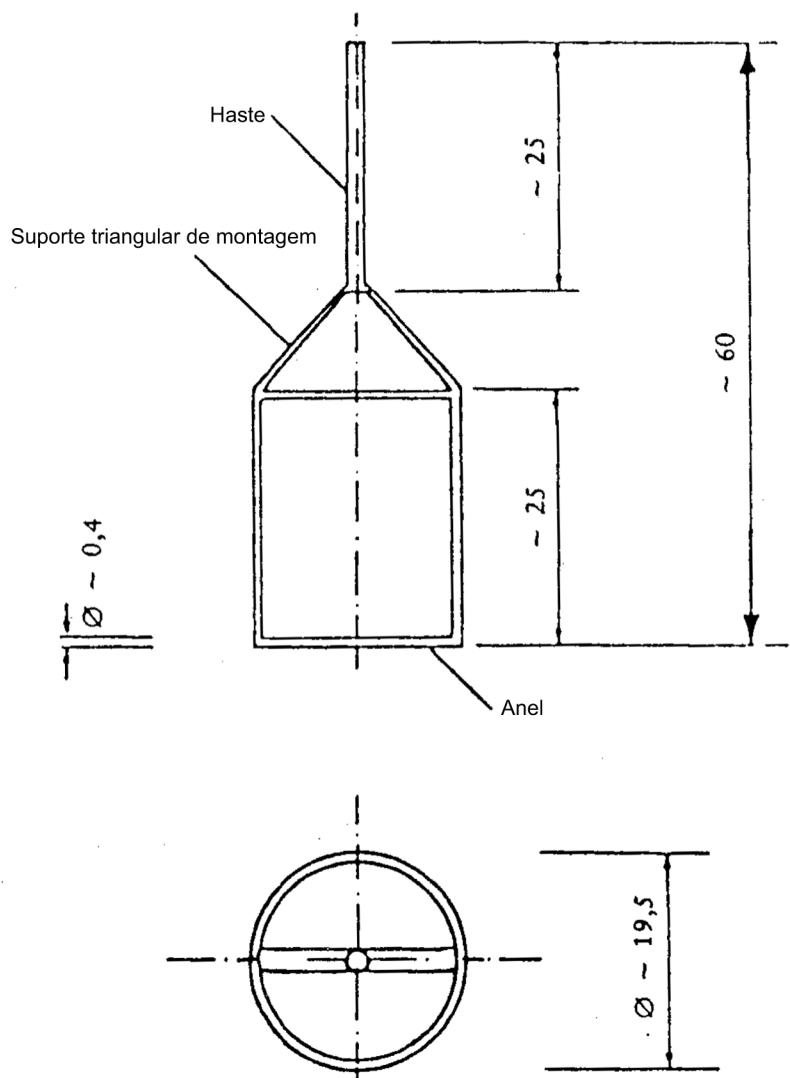
1.6.4.1.3. Corpo para a medição (anel)

Normalmente o anel é feito de um fio de platina/irídio com a espessura aproximada de 0,4 mm e com um perímetro médio de 60 mm. O anel é suspenso horizontalmente de uma haste metálica, através de um suporte triangular de montagem, que estabelece a ligação ao sistema de medição de força (ver figura).

Figura

Corpo para a medição

(Todas as dimensões estão expressas em milímetros)

**1.6.4.1.4. Recipiente de medição**

O recipiente de medição que contém a solução a testar deverá ser um recipiente de vidro termostatzado. Deve ser concebido de tal modo que durante a medição a temperatura da solução líquida que se pretende testar e a fase gasosa sobre a sua superfície permaneçam constantes e impedindo que haja evaporação da amostra. São aceitáveis recipientes cilíndricos de vidro que possuam um diâmetro interno não inferior a 45 mm.

1.6.4.2. Preparação do equipamento**1.6.4.2.1. Limpeza**

Os recipientes de vidro devem ser cuidadosamente limpos. Se necessário, deverão ser lavados com ácido cromossulfúrico quente e depois lavados com ácido fosfórico xaroposo (83 a 98 % em peso de H_3PO_4), lavados muito bem com água da torneira e lavados finalmente com água bidestilada até se obter uma reacção neutra, efectuando-se depois a secagem ou a lavagem com um pouco do líquido da amostra que se pretende medir.

O anel deve ser primeiro muito bem lavado com água para se fazer a remoção de quaisquer substâncias que sejam solúveis em água, depois mergulhado rapidamente em ácido cromossulfúrico, lavado com água bidestilada até se obter uma reacção neutra e finalmente deverá ser aquecido rapidamente sobre uma chama de metanol.

Nota:

A contaminação com substâncias que não sejam dissolvidas ou destruídas com o ácido cromossulfúrico ou com o ácido fosfórico, tais como os silícones, deve ser removida usando um solvente orgânico adequado.

1.6.4.2.2. Calibração do aparelho

A validação do aparelho consiste em verificar o seu zero e em ajustá-lo de tal modo que a indicação do instrumento permita uma determinação segura em mN/m.

Montagem:

O aparelho deve ser nivelado, por exemplo, por meio de um nível de bolha de ar colocado na base do tensiómetro, ajustando-se os parafusos de nivelamento existentes na base.

Ajustamento do zero:

Após a montagem do anel no aparelho e antes da imersão no líquido deve ajustar-se o zero do tensiómetro e deve verificar-se o paralelismo do anel com a superfície do líquido. Para satisfazer este objectivo pode utilizar-se como espelho a superfície do líquido.

Calibrações:

A calibração pode ser efectuada recorrendo a um de dois procedimentos:

- a) Utilizando uma massa: procedimento que utiliza cavaleiros de massa conhecida compreendida entre 0,1 e 1,0 g colocados sobre o anel. O factor de calibração Φ_a pelo qual todas as leituras do instrumento devem ser multiplicadas determina-se de acordo com a equação (1):

$$\Phi_a = \frac{\sigma_r}{\sigma_a} \quad (1)$$

em que:

$$\sigma_r = \frac{mg}{2b} \text{ (mN/m)}$$

m = massa do cavaleiro (g)

g = aceleração da gravidade (981 cm s^{-2} ao nível do mar)

b = perímetro médio do anel (cm)

σ_a = leitura do tensiómetro após colocação do cavaleiro no anel (mN/m)

- b) Utilizando água: procedimento que utiliza água pura cuja tensão superficial, por exemplo, à temperatura de 23°C é igual a 72,3 mN/m. Este procedimento é mais rápido do que a calibração com cavaleiros, mas existe sempre o risco de a tensão superficial da água estar falseada por vestígios de contaminação com agentes tensioactivos.

O factor de calibração Φ_b pelo qual todas as indicações do instrumento deverão ser multiplicadas determina-se de acordo com a equação (2):

$$\Phi_b = \frac{\sigma_o}{\sigma_g} \quad (2)$$

em que:

σ_o = valor referido na literatura para a tensão superficial da água (mN/m)

σ_g = valor medido da tensão superficial da água (mN/m) ambos à mesma temperatura.

1.6.4.3. Preparação de amostras

As soluções aquosas deverão ser preparadas com as substâncias que se pretende testar, utilizando as necessárias concentrações em água, e não deverão conter quaisquer substâncias não dissolvidas.

A solução deve ser mantida a uma temperatura constante ($\pm 0,5$ °C). Uma vez que a tensão superficial de uma solução no recipiente de medição se altera no decurso do tempo, deverão ser efectuadas diversas medições em momentos diferentes e deverá ser traçada uma curva que represente a tensão superficial em função do tempo. Quando já não ocorrerem mais variações significa que se atingiu um estado de equilíbrio.

A contaminação com poeiras e com gases interfere com a medição. Em consequência, o trabalho deverá ser efectuado sob uma cobertura de protecção.

1.6.5. Condições do teste

A medição deverá ser efectuada aproximadamente à temperatura de 20 °C e deverá ser controlada entre $\pm 0,5$ °C.

1.6.6. Realização do teste

As soluções que se pretendem medir devem ser cuidadosamente transferidas para o recipiente de medição, limpo, tomando-se precauções para evitar a formação de espuma, e depois o recipiente de medida deverá ser colocado sobre a mesa do aparelho de teste. A parte superior da mesa com o recipiente de medida deverá ser elevada até que o anel fique imerso sob a superfície da solução que se pretende medir. Depois, a parte superior da mesa deverá ser baixada gradual e uniformemente (aproximadamente a velocidade de 0,5 cm/minuto) até que ocorra a separação do anel da superfície no momento em que se atingiu a força máxima. A camada de líquido associada ao anel não deve separar-se do anel. Depois de se terem completado as medições deve imergir-se o anel novamente sob a superfície e devem repetir-se as medições até se atingir um valor constante para a tensão superficial. O momento da transferência da solução para o recipiente de medição deverá ser registado para cada determinação. Deverão ser efectuadas leituras da força máxima necessária para separar o anel da superfície do líquido.

2. RESULTADOS

Para se calcular a tensão superficial, o valor lido em mN/m no aparelho deverá ser multiplicado primeiro pelo factor de calibração Φ_a ou Φ_b (conforme o procedimento de calibração utilizado). Obter-se-á deste modo um valor aproximado, pelo que é necessária correcção posterior.

Harkins e Jordan (4) determinaram empiricamente factores de correcção para valores de tensão superficial medidos pelo método do anel, os quais dependem das dimensões do anel, da densidade do líquido e da sua tensão superficial.

Uma vez que é trabalhoso determinar o factor de correcção para cada medição individual a partir das tabelas de Harkins e Jordan, para se calcular a tensão superficial de soluções aquosas pode utilizar-se o procedimento simplificado de leitura dos valores de tensão superficial corrigidos directamente a partir da tabela. (Recorrer-se-á à interpolação para leituras compreendidas entre os valores indicados na tabela.)

Tabela

Correcção da tensão superficial medida

Apenas para soluções aquosas, $p = 1 \text{ g/cm}^3$

R	9,55 mm (raio médio do anel)
r	0,185 mm (raio do fio do anel)

Valor experimental (mN/m)	Valor corrigido (mN/m)	
	Calibração de massa [ver 1.6.4.2.2.a)]	Calibração com água [ver 1.6.4.2.2.b)]
20	16,9	18,1
22	18,7	20,1
24	20,6	22,1

Valor experimental (mN/m)	Valor corrigido (mN/m)	
	Calibração de massa [ver 1.6.4.2.2.a)]	Calibração com água [ver 1.6.4.2.2.b)]
26	22,4	24,1
28	24,3	26,1
30	26,2	28,1
32	28,1	30,1
34	29,9	32,1
36	31,8	34,1
38	33,7	36,1
40	35,6	38,2
42	37,6	40,3
44	39,5	42,3
46	41,4	44,4
48	43,4	46,5
50	45,3	48,6
52	47,3	50,7
54	49,3	52,8
56	51,2	54,9
58	53,2	57,0
60	55,2	59,1
62	57,2	61,3
64	59,2	63,4
66	61,2	65,5
68	63,2	67,7
70	65,2	69,9
72	67,2	72,0
74	69,2	—
76	71,2	—
78	73,2	—

Este quadro foi compilado com base na correcção de Harkins-Jordan e é idêntico ao da norma DIN (DIN 53914) para a água e para soluções aquosas (densidade $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$ e destina-se a um anel comercialmente disponível que possui as dimensões $R = 9,55 \text{ mm}$ (raio médio do anel) e $r = 0,185 \text{ mm}$ (raio do fio do anel). A tabela proporciona valores corrigidos para as medições de tensão superficial obtidas após calibração com massas ou calibração com água.

Em alternativa, sem que haja a calibração precedente, pode calcular-se a tensão superficial de acordo com a fórmula seguinte:

$$\sigma = \frac{f \times F}{4\pi R}$$

em que:

F = força medida no dinamómetro no ponto de ruptura da película

R = raio do anel

f = factor de correcção (1)

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

- método utilizado,
- tipo de água ou de solução utilizada,
- especificação exacta da substância (identificação e impurezas),
- resultados da medição: tensão superficial (leitura) especificando as duas leituras individuais e a sua média aritmética e bem assim o valor médio corrigido (tomando em consideração o factor relativo ao equipamento e a tabela de correcção,
- concentração da solução,
- temperatura do teste,
- período de vida da solução utilizada; em particular, o tempo decorrido entre a preparação e a medição efectuada na solução,
- descrição da dependência temporal da tensão superficial após a transferência da solução para o recipiente de medição,
- todas as informações e notas relevantes para a interpretação dos resultados devem ser descritas, especialmente no que diz respeito a impurezas e estado físico da substância.

3.2. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Considerando que a água destilada possui uma tensão superficial de 72,75 mN/m à temperatura de 20°C, as substâncias que apresentem uma tensão superficial inferior a 60 mN/m sob as condições descritas para este método deverão ser consideradas como materiais tensioactivos.

4. REFERÊNCIAS

- (1) OECD, Paris, 1981, Test Guideline 115, Decision of the Council C(81) 30 final.
- (2) R. Weissberger ed., Technique of Organic Chemistry, Physical Methods of Organic Chemistry, 3rd ed., Interscience Publ., New York, 1959, vol. I, Part I, Chapter XIV.
- (3) Pure Appl. Chem., 1976, vol. 48, p. 511.
- (4) Harkins, W.D., Jordan, H.F., J. Amer. Chem. Soc., 1930, vol. 52, p. 1751.

A.6. SOLUBILIDADE EM ÁGUA

1. MÉTODO

Os métodos descritos baseiam-se nas Normas de Ensaio da OCDE (1).

1.1. INTRODUÇÃO

É útil possuir informações preliminares sobre a fórmula estrutural, a pressão de vapor, a constante de dissociação e a hidrólise (em função do pH) da substância para se realizar este teste.

Não existe um método único susceptível de abranger todas as possibilidades de solubilidade em água.

Os dois métodos de teste adiante descritos abrangem a totalidade de possibilidades de solubilidade em água mas não são aplicáveis às substâncias voláteis:

- um desses métodos aplica-se a substâncias essencialmente puras, com baixa solubilidade ($< 10^{-2}$ gramas por litro), e que são estáveis em água, designado por «método de eluição em coluna»,
- o outro método aplica-se a substâncias essencialmente puras com solubilidades superiores ($> 10^{-2}$ gramas por litro), e que são estáveis em água, designado por «método do balão».

A solubilidade da substância testada em água pode ser consideravelmente afectada pela presença de impurezas.

1.2. DEFINIÇÃO E UNIDADES

A solubilidade de uma substância em água é especificada pela concentração da massa de saturação dessa substância em água a uma determinada temperatura. A solubilidade em água é especificada em unidades de massa por volume de solução. A unidade do SI é kg/m^3 (também se pode utilizar gramas por litro).

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Não é necessário utilizar substâncias de referência quando se está a investigar uma nova substância. Essas substâncias servem essencialmente para verificar, de vez em quando, as características de execução do método e para proporcionar a comparação com resultados obtidos com outros métodos.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Dever-se-á determinar a quantidade aproximada de amostra e o tempo necessário para conseguir a concentração da massa de saturação, num ensaio preliminar simples.

1.4.1. Método de eluição em coluna

Este método baseia-se na eluição de uma substância a testar com água numa microcoluna, a qual é carregada com um material de suporte inerte tal como esferas de vidro ou areia coberto com um excesso da substância a testar. Determina-se a solubilidade em água quando a concentração de massa do eluido é constante. Esta situação corresponde a um nível constante de concentração em função do tempo.

1.4.2. Método do balão

De acordo com este método, dissolve-se a substância (os sólidos devem ser pulverizados) em água a uma temperatura ligeiramente superior à temperatura do teste. Ao atingir-se a saturação arrefece-se a mistura e mantém-se à temperatura de ensaio, agitando enquanto for necessário para alcançar o equilíbrio. Em alternativa pode efectuar-se a medição directamente à temperatura de ensaio, desde que se garanta por amostragem adequada que se atingiu o equilíbrio na saturação. Posteriormente determina-se por um método analítico adequado a concentração de massa da substância na solução aquosa, a qual não deve conter quaisquer partículas não dissolvidas.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

1.5.1. Repetitividade

Para o método de eluição em coluna pode obter-se um resultado < 30 %, para o método do balão poder-se-á observar um resultado < 15 %.

1.5.2. Sensibilidade

Este parâmetro depende do método de análise, mas é possível efectuar determinações de concentração de massa inferiores a 10^{-6} gramas por litro.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

1.6.1. Condições do teste

O teste efectua-se preferencialmente à temperatura de $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$. No caso de se suspeitar da existência de uma dependência da solubilidade em função da temperatura ($> 3 \%$ por $^\circ\text{C}$), dever-se-á efectuar ensaios para dois outros valores diferentes de temperatura, pelo menos 10°C acima e abaixo da temperatura escolhida. Neste caso, o controlo de temperatura deverá ser da ordem de $\pm 0,1^\circ\text{C}$. A temperatura escolhida deverá ser mantida constante em todas as partes relevantes do equipamento.

1.6.2. Teste preliminar

A uma quantidade aproximadamente de 0,1 g de amostra (as substâncias sólidas deverão ser pulverizadas) colocada numa proveta graduada de 10 ml, com rolha de vidro, adicionam-se volumes crescentes de água destilada à temperatura ambiente, de acordo com a progressão indicada no quadro a seguir:

0,1 g solúveis em «x» ml de água	0,1	0,5	1	2	10	100	> 100
Solubilidade aproxima- mada (gramas por litro)	> 1 000	1 000-200	200-100	100-50	50-10	10-1	< 1

Após cada adição da quantidade de água indicada, agita-se vigorosamente a mistura durante 10 minutos e verifica-se visualmente a existência de quaisquer partes não dissolvidas da amostra. Se após a adição de 10 ml de água a amostra ou partes dela permanecerem por dissolver, é necessário repetir a experiência numa proveta graduada de 100 ml com maiores volumes de água. Para valores inferiores de solubilidade o tempo necessário para dissolver uma substância pode ser consideravelmente mais longo (dever-se-á esperar pelo menos 24 horas). A solubilidade aproximada é dada na tabela anterior relativamente ao volume de água adicionada para o qual ocorre a dissolução completa da amostra. No caso de a substância continuar aparentemente insolúvel, será necessário esperar mais do que 24 horas (96 horas no máximo) ou deverá ser experimentada outra diluição para determinar se deve ser utilizado o método de eluição em coluna ou o método da solubilidade em balão.

1.6.3. Método de eluição em coluna

1.6.3.1. Material de suporte, solvente e eluente

O material de suporte para o método de eluição em coluna deverá ser inerte. Os materiais que podem ser utilizados são as esferas de vidro e a areia e deverá ser utilizado um solvente volátil adequado, de qualidade analítica, para se aplicar a substância a testar ao material de suporte. Poder-se-á utilizar como eluente água bidestilada num aparelho de quartzo ou de vidro.

Nota:

Não deve ser utilizada água proveniente directamente de um permutador de iões orgânicos.

1.6.3.2. Carga do suporte

Pesa-se aproximadamente 600 mg de material de suporte e transfere-se para um balão de fundo redondo de 50 ml.

Dissolve-se no solvente escolhido uma quantidade determinada e adequada da substância a testar. Adiciona-se ao material de suporte uma quantidade apropriada desta solução. O solvente deve ser completamente evaporado, por exemplo, num evaporador rotativo; caso contrário não se conseguirá a saturação do suporte com água, devido a efeitos de repartição que ocorrem na superfície do material de suporte.

A colocação da carga no material de suporte pode originar problemas (resultados errados) se a substância a testar se depositar como um óleo ou como uma fase cristalina diferente. O problema deverá ser examinado experimentalmente e os pormenores deverão constar do relatório.

Deixar que o material de suporte assim carregado fique embebido, durante aproximadamente 2 horas, em cerca de 5 ml de água e depois transfere-se a suspensão para a microcoluna. Em alternativa, o material de suporte carregado e seco pode ser vertido na microcoluna a qual foi previamente cheia com água e depois deixa-se estabelecer o equilíbrio durante aproximadamente 2 horas.

Procedimento de ensaio:

A eluição da substância a partir do material de suporte pode ser efectuada recorrendo a uma de duas vias diferentes:

- bomba de recirculação (ver figura 1),
- reservatório de nível (ver figura 4).

1.6.3.3. Método de eluição em coluna com bomba de recirculação

Aparelho

A figura 1 representa uma disposição esquemática de um sistema típico. A figura 2 representa uma microcoluna adequada, embora sejam aceitáveis outras dimensões, desde que fiquem satisfeitos os critérios de reprodutibilidade e de sensibilidade. A coluna deverá dispor de um espaço superior correspondente a pelo menos cinco vezes o volume base de água e deverá ser capaz de conter um mínimo de cinco amostras. Em alternativa, poder-se-á reduzir as dimensões no caso de se utilizar um solvente de constituição para substituir os cinco volumes de base iniciais removidos com as impurezas.

A coluna deverá ser ligada a uma bomba de recirculação susceptível de controlar fluxos aproximadamente à razão de 25 ml/hora. A ligação da bomba é feita com tubos de politetrafluoro-etileno (PTFE) e/ou tubos de vidro. A coluna e a bomba, quando ligadas, deverão permitir a amostragem do efluente e o equilíbrio da parte superior à pressão atmosférica. O material da coluna é suportado com um pequeno tampão (5 mm) de lã de vidro, o qual serve também para filtrar partículas. A bomba de recirculação pode ser, por exemplo, uma bomba peristáltica ou uma bomba de membrana (é necessário tomar precauções para que não haja contaminação e/ou adsorção com o material do tubo).

Procedimento de medição

Inicia-se o fluxo através da coluna. Recomenda-se a utilização de um débito de aproximadamente 25 ml/hora (isto corresponde a 10 volumes de base/hora para a coluna descrita). Os primeiros cinco volumes de base (mínimo) são eliminados para remoção das impurezas solúveis em água. Depois disto deixa-se a bomba de recirculação funcionar até que o equilíbrio fique estabelecido, conforme definido por cinco amostras sucessivas cujas concentrações não difiram mais do que $\pm 30\%$ numa observação aleatória. As amostras deverão ser separadas umas das outras por intervalos de tempo correspondentes à passagem do eluente de pelo menos 10 volumes de enchimento da coluna.

1.6.3.4. Método de eluição em coluna com reservatório de nivelamento

Aparelho (ver figuras 4 e 3)

Reservatório de nivelamento: A ligação ao reservatório de nivelamento faz-se utilizando uma junta de vidro esmerilhado à qual é ligado um tubo de politetrafluoretileno (PTFE). Recomenda-se a utilização de um débito de aproximadamente 25 ml/hora. As fracções sucessivas de eluido deverão ser recolhidas e analisadas pelo método escolhido.

Procedimento de medição

Utilizam-se as fracções da zona média da eluição em que as concentrações são constantes ($\pm 30\%$) em pelo menos cinco fracções consecutivas, para se determinar a solubilidade em água.

Em ambos os casos (utilizando uma bomba de recirculação ou um reservatório de nivelamento) dever-se-á fazer a verificação da presença de matéria coloidal nas fracções, pela observação da existência do efeito de Tyndall (dispersão de luz).

A presença dessas partículas invalida os resultados, devendo os testes ser repetidos melhorando a acção de filtração da coluna.

Deve registar-se o valor do pH de cada amostra. Dever-se-á efectuar uma segunda experiência à mesma temperatura.

1.6.4. **Método do balão**

1.6.4.1. *Aparelho*

No método do balão é necessário o material seguinte:

- instrumentos e utensílios de vidro usais em laboratório,
- um dispositivo adequado para a agitação de soluções sob condições de temperatura constante e controlada,
- uma centrífugadora (de preferência com controlo termostático), se necessário para as emulsões, e
- equipamento para determinação analítica.

1.6.4.2. *Procedimento de medição*

A partir dos testes preliminares estima-se a quantidade de material necessário para saturar o volume desejado de água. O volume necessário de água dependerá do método analítico e do intervalo de solubilidade. Pesam-se três porções de aproximadamente cinco vezes a quantidade anteriormente determinada de material, que se introduzem em três recipientes de vidro com rolhas de vidro (por exemplo, tubos de centrifugação, balões). Adiciona-se a cada recipiente o volume escolhido de água e fecham-se hermeticamente. Os recipientes fechados são depois agitados à temperatura de 30 °C. (Deve utilizar-se um dispositivo de oscilação ou de agitação susceptível de funcionar a uma temperatura constante, por exemplo, um agitador magnético em banho-maria com termóstato.) Decorrido o período de um dia remove-se um dos recipientes e reequilibra-se durante 24 horas à temperatura de ensaio com agitação ocasional. O conteúdo do recipiente é depois submetido a centrifugação à temperatura de ensaio e determina-se a concentração do composto na fase aquosa límpida recorrendo a um método analítico adequado. Os outros dois recipientes são tratados de modo análogo, após o equilíbrio inicial à temperatura de 30 °C durante dois e três dias, respectivamente. Se os resultados da concentração obtidos pelo menos com os dois últimos recipientes concordarem com a reprodutibilidade necessária, considera-se que o teste é satisfatório. Todo o teste deverá ser repetido, utilizando períodos de tempo de equilíbrio mais longos, se os resultados obtidos nos recipientes 1, 2 e 3 mostrarem uma tendência para valores crescentes.

O procedimento de medição também pode ser efectuado sem pré-incubação à temperatura de 30°C. No sentido de se estimar a velocidade a que se estabelece o equilíbrio de saturação extraem-se amostras até que o tempo de agitação deixe de influenciar a concentração da solução a testar.

Deve registar-se o valor do pH de cada amostra.

1.6.5. **Análise**

É preferível um método analítico específico de cada substância para estas determinações uma vez que pequenas quantidades de impurezas solúveis podem originar erros grandes na solubilidade medida. São exemplos desses métodos os seguintes: a cromatografia de gases ou de líquidos, os métodos de titulação, os métodos fotométricos, os métodos voltamétricos.

2. **RESULTADOS**

2.1. **MÉTODO DA ELUIÇÃO EM COLUNA**

Dever-se-á calcular, para cada experiência, o valor médio dos resultados obtidos com pelo menos cinco amostras consecutivas, extraídos do patamar constante de saturação, o mesmo devendo ser feito para o desvio-padrão. Os resultados deverão ser apresentados em unidades de massa por volume de solução.

Procede-se à comparação dos valores médios calculados relativamente a dois testes utilizando fluxos diferentes, devendo a sua repetitividade ser menor do que 30 %.

2.2. MÉTODO DO BALÃO

Deverão ser apresentados os resultados individuais para cada um dos três recipientes e, admitindo-se que esses resultados são constantes (repetitividade menor do que 15 %), calcular-se-á a sua média e apresentar-se-á o resultado em unidades de massa por volume de solução. Isto pode exigir a reconversão de unidades de massa em unidades de volume, utilizando-se a densidade no caso da solubilidade ser muito elevada (> 100 gramas por litro).

3. RELATÓRIOS

3.1. MÉTODO DE ELUIÇÃO EM COLUNA

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

- os resultados do teste preliminar,
- a especificação exacta da substância (identificação e impurezas),
- as concentrações individuais, os débitos e o pH de cada amostra,
- as médias e os desvios-padrão de pelo menos cinco amostras do patamar constante de saturação para cada experiência,
- o valor médio de duas experiências sucessivas e aceitáveis,
- a temperatura da água durante o processo de saturação,
- o método de análise utilizado,
- a natureza do material de suporte utilizado,
- o processo de carga do material de suporte,
- o solvente utilizado,
- a evidência de qualquer instabilidade química da substância durante o teste e o método utilizado,
- toda a informação relevante para a interpretação dos resultados, especialmente no que diz respeito a impurezas e estado físico da substância.

3.2. MÉTODO DO BALÃO

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

- os resultados do teste preliminar,
- a especificação exacta da substância (identificação e impurezas),
- as determinações analíticas individuais e o valor médio no caso de se determinar mais do que um valor para cada recipiente,
- o valor do pH de cada amostra,
- a média dos valores para recipientes diferentes que tenham estado em conformidade,
- a temperatura do teste,

- o método analítico utilizado,
- evidência de qualquer instabilidade química da substância durante o teste e método utilizado,
- toda a informação relevante para a interpretação dos resultados, especialmente no que diz respeito a impurezas e ao estado físico da substância.

4. REFERÊNCIAS

- (1) OECD, Paris, 1981, Test Guideline 105, Decision of the Council C(81) 30 final.
- (2) NF T 20-045 (AFNOR) (Sept. 85). Chemical products for industrial use — Determination of water solubility of solids and liquids with low solubility — Column elution method
- (3) NF T 20-046 (AFNOR) (Sept. 85). Chemical products for industrial use — Determination of water solubility of solids and liquids with high solubility — Flask method

Apêndice

Figura 1

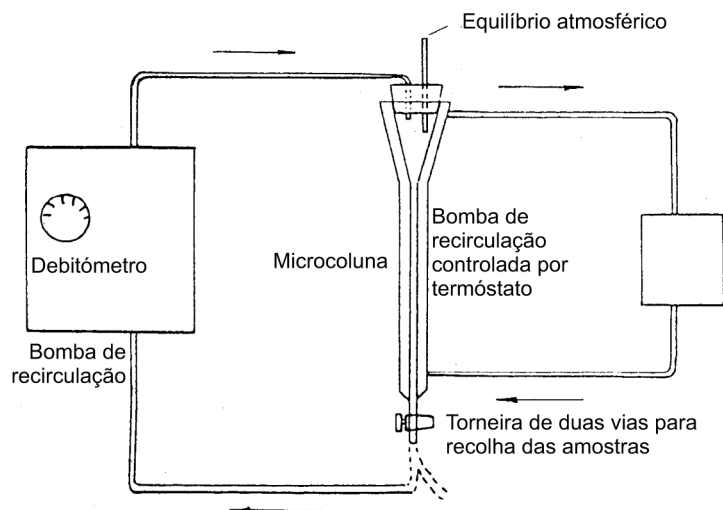
Método de eluição em coluna com bomba de recirculação

Figura 2

Microcoluna tipo

(Todas as dimensões estão em milímetros)

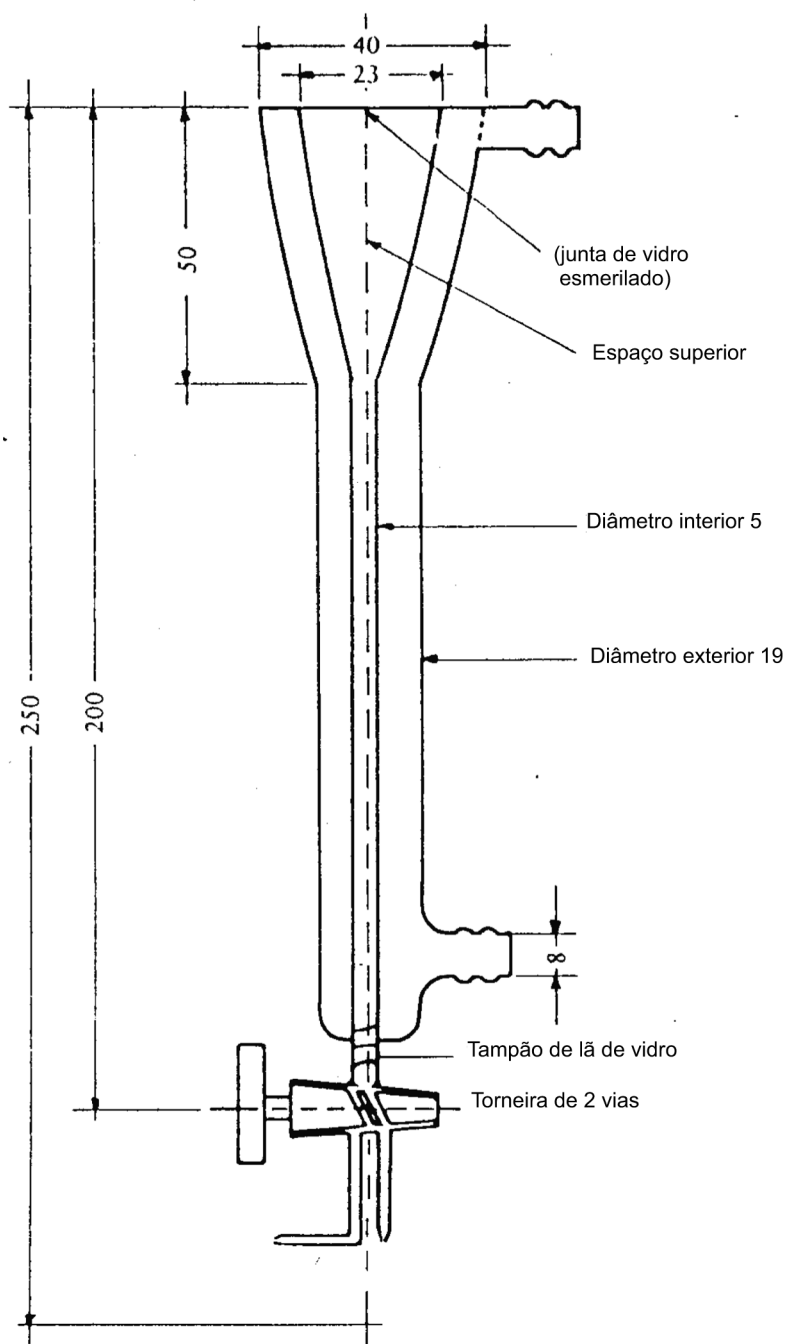


Figura 3

Microcoluna tipo

(Todas as dimensões estão em milímetros)

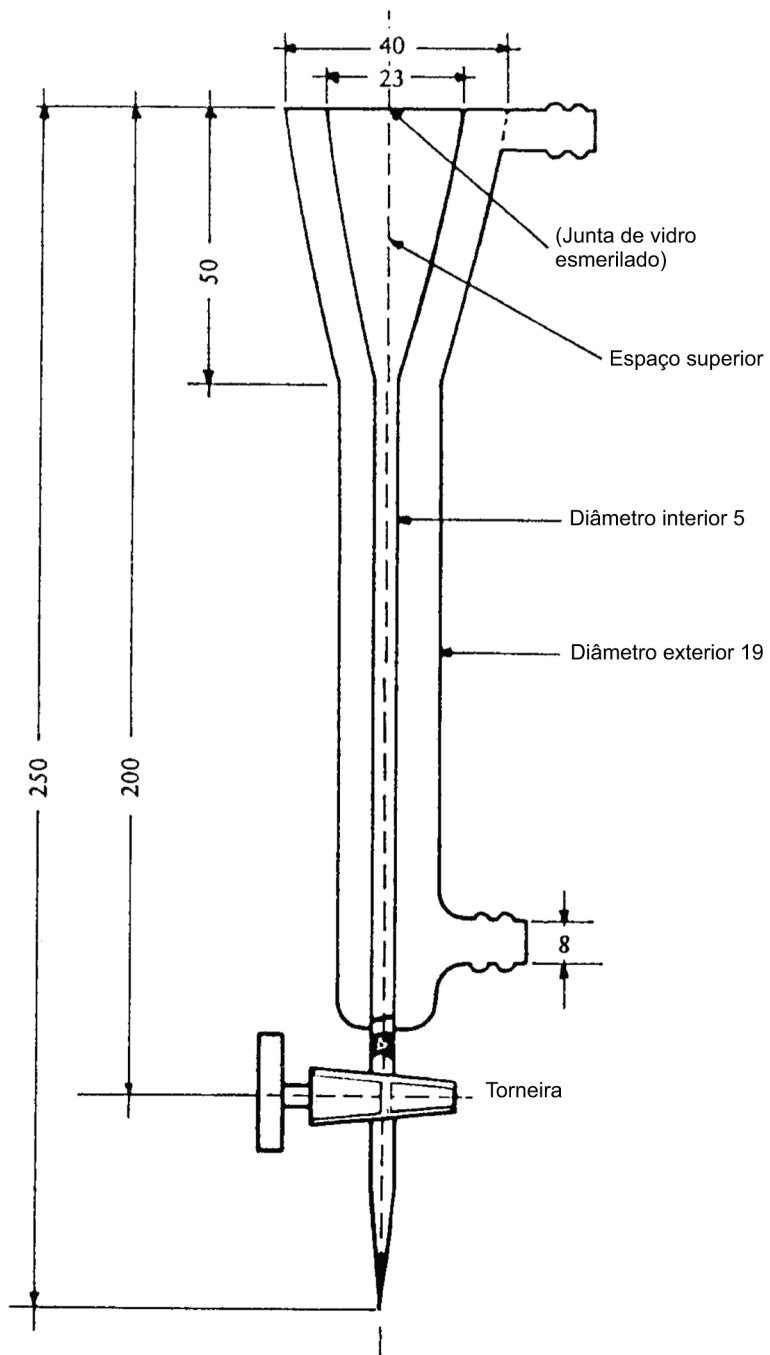
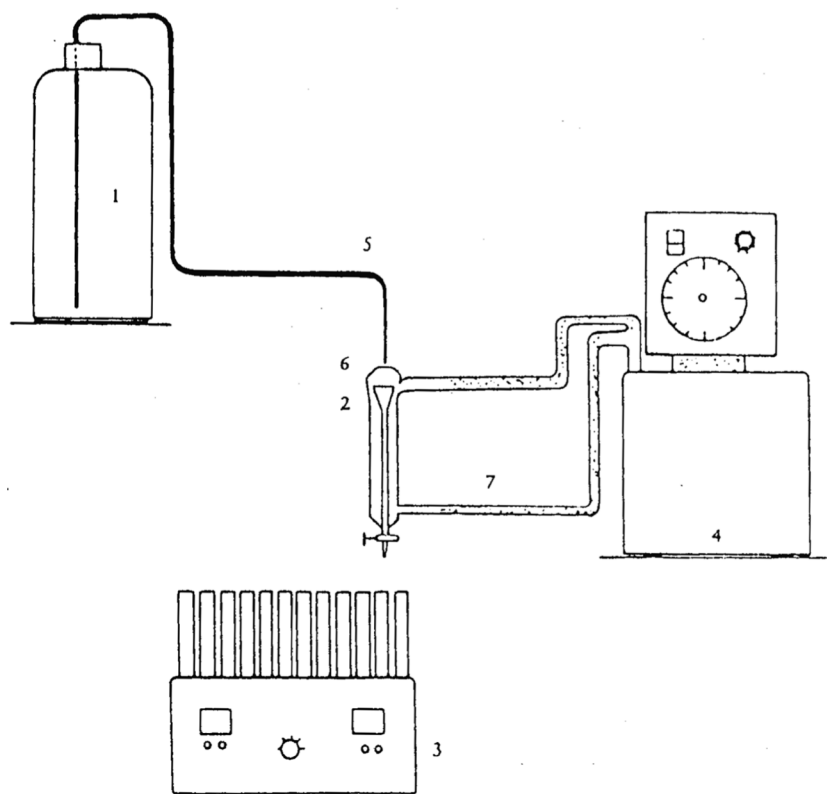


Figura 4

Método de eluição em coluna com reservatório de nivelamento

- 1 = Recipiente de nivelamento (por exemplo, frasco de 2,5 litros)
2 = Coluna (ver figura 3)
3 = Colector das fracções
4 = Termóstato
5 = Tubo de teflon
6 = Rolha de vidro esmerilado
7 = Tubo de água (entre o termóstato e a coluna, diâmetro interno: aproximadamente 8 mm)

A.8 COEFICIENTE DE PARTIÇÃO

1. MÉTODO

O método do «frasco agitado» descrito baseia-se na norma de ensaio da OCDE (1).

1.1. INTRODUÇÃO

É útil possuir informações preliminares sobre a fórmula estrutural, a constante de dissociação, a solubilidade em água, hidrólise, solubilidade em n-octanol e tensão superficial, da substância sujeita a este teste.

As medições deverão ser efectuadas em substâncias ionizáveis apenas na sua forma não ionizada (ácido livre ou base livre) produzida pela utilização de um tampão apropriado cujo pH possua um valor de pelo menos uma unidade de pH abaixo (ácido livre) ou acima (base livre) do valor pK.

Este método de ensaio engloba dois procedimentos separados — o método do frasco agitado e a cromatografia líquida de elevado rendimento (mais conhecida por «HPLC» ou High Performance Liquid Chromatography). O primeiro método aplica-se nos casos em que o valor $\log P_{oa}$ (ver as definições mais adiante) se encontra no intervalo entre — 2 e 4 e o outro método aplica-se nos casos em que aquele valor está compreendido entre 0 e 6. Antes de se executar qualquer dos procedimentos experimentais dever-se-á obter primeiro uma estimativa preliminar do coeficiente de partição.

O método do frasco agitado aplica-se apenas a substâncias essencialmente puras solúveis em água e em n-octanol. Não é aplicável aos materiais tensioactivos (para os quais deverá ser obtido o valor calculado ou uma estimativa com base nas solubilidades individuais em n-octanol e em água).

O método de HPLC não se aplica a bases e ácidos fortes, a complexos de metais, a materiais tensioactivos ou a substâncias que reajam com o eluente. Para estes materiais deverá ser obtido um valor calculado ou uma estimativa, tomando como base as solubilidades individuais em n-octanol e em água.

O método de HPLC é menos sensível à presença de impurezas do que o método do frasco agitado. Contudo, em alguns casos as impurezas podem tornar difícil a interpretação de resultados devido ao facto de se tornar incerta a determinação dos picos. Para misturas que originem uma banda não resolvida deverão ser especificados os limites inferior e superior de $\log P$.

1.2. DEFINIÇÃO E UNIDADES

Define-se o coeficiente de partição (P) como sendo a razão entre as concentrações de equilíbrio (c_i) de uma substância dissolvida num sistema de duas fases, constituído por dois solventes claramente imiscíveis. No caso do n-octanol e da água temos:

$$P_{ow} = \frac{c_{n-octanol}}{c_{water}}$$

Em consequência, o coeficiente de partição (P) é o quociente entre duas concentrações e é dado vulgarmente na forma do seu logaritmo de base 10 ($\log P$).

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Método do frasco agitado

Não é necessário utilizar substâncias de referência quando se está a investigar uma nova substância. Essas substâncias servem essencialmente para verificar, de vez em quando, a calibração do método e para proporcionar a comparação com resultados obtidos com outros métodos.

Método de HPLC

No sentido de se estabelecer uma correlação entre os dados de HPLC medidos para um determinado composto com o seu valor P, torna-se necessário estabelecer um gráfico de calibração de $\log P$ em função dos dados cromatográficos utilizando pelo menos 6 pontos de referência. É deixado ao arbítrio do utilizador seleccionar as substâncias de referência apropriadas. Sempre que possível, pelo menos uma substância de referência deverá possuir um valor P_{oa} superior, e outra um valor P_{oa} inferior ao da substância a testar. Para valores de $\log P$ inferiores a 4, a calibração pode basear-se nos dados obtidos pelo método do frasco agitado. Para valores de $\log P$ superiores a 4, a calibração pode basear-se em valores calibrados e publicados em diversa literatura se esses valores estiverem em conformidade com os valores calculados. Para se conseguir melhor precisão é preferível escolher substâncias de referência cuja estrutura química esteja relacionada com a da substância a testar.

Existem disponíveis listagens extensivas de valores de $\log P_{oa}$ para muitos grupos de compostos químicos (2)(3). No caso dos dados sobre os coeficientes de partição dos compostos estruturalmente afins não se encontrarem disponíveis, pode-se utilizar então uma calibração mais geral estabelecida com outros compostos de referência.

No apêndice 2 apresenta-se uma listagem de substâncias de referência recomendadas e seus valores P_{oa} .

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO

1.4.1. Método do frasco agitado

No sentido de se determinar um coeficiente de partição, torna-se necessário conseguir o equilíbrio entre todos os componentes do sistema que actuam entre si e devem-se determinar as concentrações das substâncias dissolvidas nas duas fases. Um estudo publicado na literatura relativa a este assunto indica que é possível utilizar diversas técnicas diferentes para resolução deste problema, isto é, a mistura perfeita das duas fases seguindo-se a sua separação, no sentido de se determinar a concentração de equilíbrio para a substância que se pretende examinar.

1.4.2. Método de HPLC

Efectua-se o HPLC em colunas analíticas carregadas com uma fase sólida comercialmente disponível contendo hidrocarbonetos de cadeia longa (por exemplo C_8 , C_{18}) quimicamente ligados à sílica. Os compostos químicos injectados nessa coluna movem-se através dela a velocidades diferentes devido aos diferentes graus de partição entre a fase móvel e a fase estacionária do hidrocarboneto. As misturas de compostos químicas são eluídas por ordem da sua hidrofobicidade, sendo eluídos primeiro os compostos químicos solúveis em água e depois os compostos químicos solúveis em óleo, proporcionalmente ao seu coeficiente de partição entre hidrocarboneto e água. Isto permite estabelecer uma relação entre o tempo de retenção numa tal coluna (fase reversa) e o coeficiente de partição entre n-octanol/água. Deduz-se o coeficiente de partição a partir do factor de capacidade k , dado pela expressão:

$$k = \frac{t_r - t_0}{t_0}$$

na qual t_r = tempo de retenção da substância a testar e t_0 = tempo médio que uma molécula de solvente necessita para passar através da coluna (tempo limite).

Não são necessários métodos analíticos quantitativos e apenas é necessária a determinação dos tempos de eluição.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

1.5.1. Repetitividade

Método do frasco agitado

No sentido de se garantir a exactidão do coeficiente de partição é necessário efectuar determinações em duplicado sob três condições de ensaio diferentes, podendo consequentemente alterar a quantidade de substância especificada e também a proporção entre os volumes de solvente. Os valores determinados do coeficiente de partição, expressos pelos seus logaritmos, deverão estar compreendidos num intervalo limitado por $\pm 0,3$ unidades logarítmicas.

Método de HPLC

No sentido de se aumentar a confiança da medição deverão ser efectuadas determinações em duplicado. Os valores de $\log P$ derivados das medições individuais deverão estar dentro de um intervalo limitado por $\pm 0,1$ unidades logarítmicas.

1.5.2. Sensibilidade

Método do frasco agitado

Determina-se o intervalo de medição do método pelo limite de detecção do procedimento analítico. Isto deverá permitir a determinação de valores $\log P_{oa}$ no intervalo compreendido entre - 2 e 4 (ocasionalmente, quando houver condições adequadas, este intervalo pode ser dilatado até valores de $\log P_{oa}$ próximos de 5), quando a concentração do soluto em qualquer fase não for superior a 0,01 mol por litro.

Método de HPLC

O método de HPLC permite estimar os coeficientes de partição em termos de $\log P_{oa}$ no intervalo 0 a 6.

Normalmente o coeficiente de partição de um composto pode ser estimado a menos de ± 1 unidade logarítmica relativamente ao valor obtido pelo método do frasco agitado. Existem correlações típicas que é possível encontrar na literatura (4)(5)(6)(7)(8). Normalmente, pode-se conseguir uma precisão superior quando as curvas de correlação se baseiam em compostos de referência estruturalmente afins (9).

1.5.3. Especificidade*Método do frasco agitado*

A Lei de Partição de Nernst aplica-se apenas quando os parâmetros temperatura, pressão e pH são constantes para soluções diluídas. Aplica-se estritamente a uma substância pura dispersa entre dois solventes puros. Se houver diversos solutos diferentes numa ou em ambas as fases simultaneamente, isto pode afectar os resultados.

A dissociação ou a associação das moléculas dissolvidas provoca desvios em relação à Lei de Partição de Nernst. Esses desvios são indicados pelo facto de o coeficiente de partição se tornar dependente da concentração da solução.

Devido à existência de múltiplos estados de equilíbrio, este método não deve ser aplicado a compostos ionizáveis sem se aplicar uma correcção. Deve-se tomar em consideração a utilização de soluções-tampão em vez de água para esses compostos; o valor do pH da solução-tampão deverá ser pelo menos uma unidade de pH afastada do valor pK_a da substância e deve-se ter sempre presente a relevância desse valor de pH para o ambiente.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO**1.6.1. Estimativa preliminar do coeficiente de partição**

Efectua-se uma estimativa do coeficiente de partição utilizando preferencialmente um método de cálculo (ver apêndice 1) ou, se for apropriado, recorrendo à razão entre solubilidades da substância a testar nos solventes puros (10).

1.6.2. Método do frasco agitado**1.6.2.1. Preparação**

n-octanol: a determinação do coeficiente de partição deverá ser efectuada com um reagente de qualidade analítica de elevada pureza.

Água: deve-se utilizar água destilada ou bidestilada num aparelho de vidro ou de quartzo. Para os compostos ionizáveis deve-se utilizar soluções-tampão em vez de água, se tal se justificar.

Nota:

Não deve ser utilizada água obtida directamente a partir de um permutador iónico.

1.6.2.1.1. Pré-saturação dos solventes

Antes de se determinar um coeficiente de partição as fases do sistema solvente são mutuamente saturadas por agitação à temperatura da experiência. Para se conseguir isto, é prática corrente agitar dois frascos grandes contendo água ou n-octanol de qualidade analítica, contendo cada um deles uma quantidade suficiente do outro solvente, durante um período de 24 horas, num agitador mecânico, e deixando-os depois em repouso durante um período de tempo suficiente para permitir a separação de fases e para se conseguir um estado de saturação.

1.6.2.1.2. Preparação para o ensaio

O volume total do sistema bifásico deverá encher quase completamente o recipiente de ensaio. Isto auxiliará a evitar as perdas de material por volatilização. A razão volumétrica e as quantidades de substância a utilizar são fixadas pelos factores seguintes:

— avaliação preliminar do coeficiente de partição (ver *supra*),

- a quantidade mínima da substância a testar necessária para o procedimento analítico, e
- a limitação de uma concentração máxima, em qualquer das fases, no valor de 0,01 mol por litro.

Efectuam-se três testes. No primeiro utiliza-se a razão volumétrica calculada entre n-octanol e a água; no segundo divide-se essa razão por dois e no terceiro multiplica-se essa razão por dois (por exemplo, 1:1, 1:2, 2:1).

1.6.2.1.3. Substância a testar

Prepara-se uma solução em n-octanol pré-saturado com água. A concentração desta solução deverá ser determinada com exactidão antes de se utilizar na determinação do coeficiente de partição. Esta solução deverá ser guardada em condições que assegurem a sua estabilidade.

1.6.2.2. Condições de ensaio

A temperatura de ensaio deverá ser mantida constante (± 1 °C) e estar compreendida no intervalo entre 20 e 25 °C.

1.6.2.3. Procedimento de medição

1.6.2.3.1. Estabelecimento do equilíbrio de partição

Para cada uma das condições de ensaio dever-se-á preparar recipientes de ensaio em duplicado, contendo as quantidades necessárias, medidas com exactidão, dos dois solventes em conjunto com a quantidade necessária da solução referida.

Deve-se medir o volume das fases de n-octanol. Os recipientes de ensaio deverão ser colocados num agitador adequado ou em alternativa deverão ser agitados manualmente. Quando se usa um tubo de centrifugação, o método recomendado consiste em rodar o tubo rapidamente 180° em torno do seu eixo transversal, de modo que qualquer bolha de ar que esteja presa se movimente através das duas fases. A experiência demonstrou que 50 rotações deste tipo são normalmente suficientes para se estabelecer o equilíbrio de partição. Para melhor garantia, recomenda-se a execução de 100 rotações em 5 minutos.

1.6.2.3.2. Separação de fases

Sempre que necessário, no sentido de se efectuar a separação de fases, dever-se-á efectuar a centrifugação da mistura. Isto deverá ser feito numa centrífugadora de laboratório mantida à temperatura ambiente ou, no caso de se utilizar uma centrífugadora de temperatura não controlada, os tubos de centrifugação deverão ser mantidos, por razões de equilíbrio, à temperatura de ensaio durante pelo menos 1 hora antes da análise.

1.6.2.4. Análise

Para a determinação do coeficiente de partição é necessário determinar as concentrações da substância a testar em ambas as fases. Isto pode ser feito extraindo uma quantidade alíquota de cada uma das duas fases a partir de cada um dos tubos, de cada uma das séries de ensaio, procedendo depois à sua análise de acordo com o procedimento escolhido. Deve-se calcular a quantidade total de substância presente em ambas as fases e efectuar-se-á a comparação com a quantidade de substância originalmente introduzida.

Deverá ser extraída uma amostra da fase aquosa recorrendo a um procedimento que minimize o risco de introduzir vestígios de n-octanol: pode-se utilizar uma seringa de vidro com uma agulha removível para extrair uma amostra da fase aquosa. A seringa deverá estar, de início, parcialmente cheia com ar. O ar deverá ser expelido suavemente enquanto se introduz a agulha através da camada de n-octanol. Retira-se com a seringa um volume adequado de fase aquosa. Remove-se a seringa rapidamente da solução e separa-se a agulha. O conteúdo da seringa pode ser utilizado depois como amostra aquosa. A concentração das duas fases separadas deverá ser determinada preferencialmente recorrendo a um método específico da substância. Como exemplos de métodos analíticos considerados apropriados faz-se referência aos seguintes:

- métodos fotométricos,
- cromatografia gasosa,
- cromatografia líquida de elevado rendimento (HPLC).

1.6.3. Método de HPLC**1.6.3.1. Preparação***Aparelho*

É necessário um cromatógrafo líquido equipado com uma bomba de pulsação livre e um dispositivo de detecção adequado. Recomenda-se a utilização de uma válvula de injeção com ciclos de injeção. A presença de grupos polares na fase estacionária pode prejudicar gravemente os resultados da coluna de HPLC. Em consequência, as fases estacionárias deverão possuir uma percentagem mínima de grupos polares (11). Podem-se utilizar colunas pré-carregadas ou cargas de fase reversa de micropartículas disponíveis comercialmente. Pode-se interpor uma coluna de protecção entre o sistema de injeção e a coluna analítica.

Fase móvel

Utiliza-se metanol e água de qualidade apropriada para HPLC, para a preparação do solvente de eluição, o qual é desgasificado antes da utilização. Deve-se utilizar uma eluição isocrática. Dever-se-á utilizar proporções metanol/água com um teor mínimo de água de 25 %. Normalmente, é satisfatória a proporção de 3:1 (v/v) para a mistura de metanol/água para se efectuar a eluição de compostos de log P 6 ao fim de uma hora para um débito de 1 mililitro por minuto. Para os compostos com um valor log P elevado pode ser necessário reduzir o tempo de eluição (e também para os compostos de referência) diminuindo a polaridade da fase móvel ou o comprimento da coluna.

As substâncias com muito fraca solubilidade em n-octanol tendem a originar valores de log P_{oa} anormalmente baixos quando se utiliza o método de HPLC; os picos desses compostos acompanham frequentemente a frente do solvente. Isto deve-se provavelmente ao facto de o processo de partição ser muito lento não se atingindo o equilíbrio no tempo normalmente necessário para uma separação por HPLC. Consequentemente, a diminuição do débito e/ou a diminuição da proporção metanol/água pode ser eficaz para se atingir um valor de confiança.

Os compostos de ensaio e de referência deverão ser solúveis na fase móvel em concentrações suficientes para permitirem as suas detecções. Apenas em casos excepcionais será aceitável adicionar aditivos à mistura de metanol/água, uma vez que esses aditivos irão modificar as propriedades da coluna. Para as cromatografias com aditivos é obrigatório utilizar uma coluna separada do mesmo tipo. No caso de a mistura metanol/água não ser apropriada é possível utilizar outras misturas de solvente orgânico/água, por exemplo, etanol/água ou acetoneitrilo/água.

O pH do eluente constitui um parâmetro crítico para os compostos ionizáveis. Aquele valor deverá estar compreendido no intervalo de valores de pH de funcionamento da coluna, sendo esse intervalo normalmente compreendido entre 2 e 8. Recomenda-se a utilização de uma mistura tampão. É necessário tomar precauções para evitar a precipitação de sal e a deterioração da coluna cuja ocorrência é possível com algumas misturas de fase orgânica/tampão. As medições por HPLC com fases estacionárias à base de sílica, para valores de pH superiores a 8, não são aconselháveis uma vez que a utilização de uma fase móvel alcalina pode provocar a deterioração rápida do funcionamento da coluna.

Solutos

Os compostos de referência deverão possuir a maior pureza possível. Os compostos destinados a serem utilizados para efeitos de ensaio ou calibração são dissolvidos na fase móvel, se possível.

Condições de ensaio

Durante as medições a temperatura não deverá variar ± 2 K.

1.6.3.2. Medição*Cálculo do tempo limite t_0*

O tempo limite t_0 pode ser determinado utilizando em alternativa uma série homóloga (por exemplo, n-alkil-metil-cetonas) ou compostos orgânicos não retidos (por exemplo, tiourea ou formamida). Para se calcular o tempo limite t_0 utilizando uma série homóloga, injecta-se um conjunto de pelo menos 7 componentes de uma série homóloga e procede-se à determinação dos respectivos tempos de retenção. Elabora-se um gráfico dos tempos de retenção $t_{r(n_c + 1)}$ em função de $t_{r(n_c)}$ e procede-se à determinação da ordenada a na origem e do declive b, através da equação de regressão:

$$t_{r(n_c + 1)} = a + b t_{r(n_c)}$$

(n_c = número de átomos de carbono). O tempo limite t_0 é dado pela equação:

$$t_0 = a/(1 - b)$$

Gráfico de calibração

O passo seguinte consiste em construir a curva de correlação de $\log k$ em função de $\log P$ para os compostos de referência apropriados. Na prática, efectua-se a injeção simultânea, de um conjunto compreendido entre 5 e 10 compostos de referência padrão cujo valor $\log P$ seja próximo do valor esperado e procede-se à determinação dos tempos de retenção, utilizando preferencialmente um integrador de registo ligado ao sistema de detecção. Procede-se ao cálculo dos logaritmos correspondentes dos factores de capacidade, $\log k$, e traça-se uma curva em função do valor $\log P$ determinado pelo método do frasco agitado. Efectua-se a calibração a intervalos regulares, pelo menos uma vez diariamente, de modo a poder fazer a compensação das possíveis variações na evolução da coluna.

Determinação do factor de capacidade da substância de ensaio

Injecta-se a substância de ensaio numa quantidade da fase móvel tão pequena quanto possível. Determina-se o tempo de retenção (em duplicado), permitindo o cálculo do factor k de capacidade. A partir do gráfico de correlação dos compostos de referência, pode-se fazer uma interpolação para determinação do coeficiente de partição da substância de ensaio. Para coeficientes de partição muito baixos ou muito elevados é necessária a extrapolação. Nesses casos particulares é necessário tomar precauções relativamente aos limites de confiança da curva de regressão.

2. RESULTADOS*Método do frasco agitado*

Pode-se testar a fiabilidade dos valores de P determinados efectuando a comparação das médias das determinações em duplicado com a média geral.

3. RELATÓRIO

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

- especificação exacta da substância (identificação e impurezas),
- no caso de os métodos não serem aplicáveis (por exemplo, material tensioactivo), apresentar-se-á um valor calculado ou uma estimativa tomando como base as solubilidades individuais em *n*-octanol e em água,
- todas as informações e notas relevantes para a interpretação dos resultados, especialmente no que diz respeito a impurezas e ao estado físico da substância.

Para o caso do método do frasco agitado:

- o resultado da estimativa preliminar, se existir,
- temperatura da determinação,
- dados relativos aos procedimentos analíticos utilizados na determinação das concentrações,
- tempo e velocidade de centrifugação, se for caso disso,
- concentrações medidas de ambas as fases para cada determinação (significa isto que deverão ser descritas 12 concentrações na totalidade),
- o peso da substância de ensaio, o volume de cada fase utilizada em cada recipiente de ensaio e a quantidade total calculada de substância de ensaio presente em cada fase após se atingir o equilíbrio,
- para cada conjunto de condições de ensaio deverão ser indicados os valores calculados do coeficiente de partição (P) e o valor médio, devendo-se indicar igualmente a média para todas as determinações. No caso de haver indícios de dependência da concentração relativamente ao coeficiente de partição, esse facto deverá constar do relatório,
- deve-se referir o desvio-padrão dos valores P individuais relativamente à sua média,

- o valor médio de P correspondente a todas as determinações deve ser expresso também na forma logarítmica (base 10),
- o valor teórico P_{oa} calculado no caso de se ter feito a determinação desse valor ou quando o valor medido for $> 10^4$,
- os valores de pH da água utilizada e da fase aquosa durante a experiência,
- no caso de se ter recorrido à utilização de tampões, o relatório deverá conter justificação da utilização desses tampões em vez de água, a sua composição, a sua concentração e os valores de pH e também os valores de pH da fase aquosa antes e após a experiência.

Para o caso do método de HPLC:

- o resultado da estimativa preliminar, se existir,
- substâncias de ensaio e de referência e sua pureza,
- intervalo de temperaturas das determinações,
- os valores de pH para os quais foram feitas as determinações,
- pormenores sobre a coluna analítica e sobre a coluna de protecção, fase móvel e meios de detecção,
- dados de retenção e valores de log P encontrados na literatura para os compostos de referência utilizados na calibração,
- pormenores sobre a linha de regressão ajustada (log k em função de log P),
- dados de retenção média e valor de log P interpolado para o composto de ensaio,
- descrição do equipamento e condições de funcionamento,
- perfil de eluição,
- quantidades das substâncias de ensaio e de referência introduzidas na coluna,
- tempo limite e método para a sua medição.

4. REFERÊNCIAS

- (1) OECD, Paris, 1981, Test Guideline 107, Decision of the Council C(81) 30 final.
- (2) C. Hansch and A.J. Leo, Substituent Constants for Correlation Analysis in Chemistry and Biology, John Wiley, New York, 1979.
- (3) Log P and Parameter Database, A tool for the quantitative prediction of bioactivity (C. Hansch, chairman, A.J. Leo, dir.) — Available from Pomona College Medical Chemistry Project 1982, Pomona College, Claremont, California 91711.
- (4) L. Renberg, G. Sundström and K. Sundh-Nygård, Chemosphere, 1980, vol. 80, p. 683.
- (5) H. Ellgehausen, C. D'Hondt and R. Fuerer, Pestic. Sci., 1981, vol. 12, p. 219 (1981).
- (6) B. McDuffie, Chemosphere, 1981, vol. 10, p. 73.
- (7) W.E. Hammers et al., J. Chromatogr., 1982, vol. 247, p. 1.

-
- (8) J.E. Haky and A.M. Young, *J. Liq. Chromat.*, 1984, vol. 7, p. 675.
- (9) S. Fujisawa and E. Masuhara, *J. Biomed. Mat. Res.*, 1981, vol. 15, p. 787.
- (10) O. Jubermann, Verteilen und Extrahieren, in *Methoden der Organischen Chemie (Houben Weyl), Allgemeine Laboratoriumspraxis* (edited by E.Muller), Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1958, Band 1/1, p. 223-339.
- (11) R.F. Rekker and H.M. de Kort, *Euro. J. Med. Chem.*, 1979, vol. 14, p. 479.
- (12) A. Leo, C. Hansch and D. Elkins, *Partition coefficients and their uses*, *Chem. Rev.*, 1971, vol. 71, p. 525.
- (13) R.F. Rekker, *The Hydrophobic Fragmental Constant*, Elsevier, Amsterdam, 1977.
- (14) NF T 20-043 AFNOR (1985). Chemical products for industrial use — Determination of partition coefficient — Flask shaking method.
- (15) C.V. Eadsforth and P.Moser, *Chemosphere*, 1983, vol. 12, p. 1459.
- (16) A. Leo, C. Hansch and D. Elkins, *Chem. Rev.*, 1971, vol. 71, p. 525.
- (17) C. Hansch, A. Leo, S.H. Unger, K.H. Kim, D. Nikaitani and E.J. Lien, *J. Med. Chem.*, 1973, vol. 16, p. 1207.
- (18) W.B. Neely, D.R. Branson and G.E. Blau, *Environ. Sci Technol.*, 1974, vol. 8, p. 1113.
- (19) D.S. Brown and E.W. Flagg, *J. Environ. Qual.*, 1981, vol. 10, p. 382.
- (20) J.K. Seydel and K.J. Schaper, *Chemische Struktur und biologische Aktivität von Wirkstoffen*, Verlag Chemie, Weinheim, New York, 1979.
- (21) R. Franke, *Theoretical Drug Design Methods*, Elsevier, Amsterdam, 1984.
- (22) Y.C. Martin, *Quantitative Drug Design*, Marcel Dekker, New York, Basel, 1978.
- (23) N.S. Nirrlees, S.J. Noulton, C.T. Murphy, P.J. Taylor, *J. Med. Chem.*, 1976, vol. 19, p. 615.

Apêndice 1

Métodos de cálculo/estimação**INTRODUÇÃO**

Na publicação «Handbook of Chemical Property Estimation Methods» (a) encontra-se uma introdução geral aos métodos de cálculo, dados e exemplos.

É possível utilizar os valores calculados de P_{oa} :

- para se decidir qual dos métodos experimentais é apropriado (gama de utilização para o frasco agitado: $\log P_{oa}$: - 2 a 4, gama de HPLC: $\log P_{oa}$: 0 a 6),
- para selecção das condições de ensaio apropriadas (por exemplo, substâncias de referência para os procedimentos de HPLC, relação volumétrica n-octanol/água para o método do frasco agitado),
- como verificação interna laboratorial sobre possíveis erros experimentais,
- para se obter um valor estimado de P_{oa} no caso em que os métodos experimentais não podem ser aplicados por razões técnicas.

MÉTODO DE ESTIMAÇÃO

Estimativa preliminar do coeficiente de partição

Pode-se estimar o valor do coeficiente de partição conhecendo as solubilidades da substância de ensaio em solventes puros, utilizando a equação:

$$P_{\text{estimado}} = \frac{\text{saturação } C_{n-\text{octanol}}}{\text{saturação } C_{\text{água}}}$$

MÉTODOS DE CÁLCULO

Princípio dos métodos de cálculo

Todos os métodos de cálculo se baseiam na fragmentação formal da molécula em subestruturas adequadas para as quais sejam conhecidos valores dos fragmentos de $\log P_{oa}$. Calcula-se depois o valor $\log P_{oa}$ da molécula inteira como sendo a soma dos correspondentes valores dos seus fragmentos mais a soma dos termos de correcção, para as interacções intramoleculares.

Existem disponíveis listas de constantes dos fragmentos e dos termos de correlação (b)(c)(d)(e). Algumas são actualizadas regularmente (b).

Critérios de qualidade

De um modo geral, a fiabilidade do método de cálculo diminui com a complexidade crescente do composto submetido a estudo. No caso de moléculas simples com baixo peso molecular e com um ou dois grupos funcionais admite-se um desvio compreendido entre 0,1 e 0,3 unidades de $\log P_{oa}$ entre os resultados obtidos com diferentes métodos de fragmentação e o valor medido. No caso das moléculas mais complexas a margem de erro pode ser superior. Isto dependerá da fiabilidade e da disponibilidade de constantes dos fragmentos e também da capacidade para identificar interacções intramoleculares (por exemplo, ligações de hidrogénio) e para utilizar correctamente os termos de correcção (este problema pode ser minimizado utilizando a aplicação informática CLOGP-3) (b). No caso dos compostos ionizantes é importante tomar em consideração correctamente a carga e o grau de ionização.

Procedimentos de cálculo

Método π de Hansch

A constante do substituinte hidrofóbico original, π , introduzida por Fujita et al. (f), define-se do modo seguinte:

$$\pi_x = \log P_{oa}(\text{PhX}) - \log P_{oa}(\text{PhH})$$

em que $P_{oa}(\text{PhX})$ representa o coeficiente de partição de um derivado aromático e $P_{oa}(\text{PhH})$ representa o coeficiente de partição do composto original

(por exemplo: $\pi_{Cl} = \log P_{oa}(\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}) - \log P_{oa}(\text{C}_6\text{H}_6) = 2,84 - 2,13 = 0,71$).

De acordo com esta definição, o método π é aplicável essencialmente nos casos de substituição aromática. Os valores π para um grande número de substituintes encontram-se em tabelas (b)(c)(d) e são utilizados para o cálculo dos valores $\log P_{oa}$ de substâncias ou moléculas aromáticas.

Método de Rekker

De acordo com Rekker (g) o valor de $\log P_{oa}$ calcula-se do modo seguinte:

$$\log P_{oa} = \sum_i a_i f_i + \sum_j (\text{termos de interacção})$$

em que f_i representa as diferentes constantes dos fragmentos moleculares e a_i representa a frequência da sua ocorrência na molécula sujeita a investigação. Os termos de correcção podem ser expressos na forma de um integral múltiplo de uma única constante C_m (designada por «constante mágica»). As constantes dos fragmentos f_i e C_m foram determinadas a partir de uma listagem de 1 054 valores experimentais de P_{oa} (825 compostos) utilizando análise de regressão múltipla (c)(h). A determinação dos termos de interacção efectua-se de acordo com regras consagradas descritas na literatura (e)(h)(i).

Método de Hansch-Leo

De acordo com Hansch e Leo (c) calcula-se o valor de $\log P_{oa}$ de acordo com a equação:

$$\log P_{oa} = \sum_i a_i f_i + \sum_j b_j F_j$$

em que f_i representa as diferentes constantes dos fragmentos moleculares, F_j representa os termos de correcção e a_i e b_j representam as correspondentes frequências de ocorrência. Por aproximações sucessivas determinou-se, a partir dos valores experimentais de P_{oa} , uma listagem de valores de fragmentos atómicos e de grupos e uma listagem dos termos de correcção F_j (designados «factores»). Os termos de correcção foram ordenados segundo diversas classes diferentes (a)(c). É relativamente complicado e moroso levar em consideração todas as regras e termos de correcção. Existem disponíveis diversas aplicações informáticas (b).

Método combinado

O cálculo dos valores $\log P_{oa}$ de moléculas complexas pode ser consideravelmente aperfeiçoado, se a molécula for cindida em subestruturas para as quais se encontrem disponíveis valores fiáveis de $\log P_{oa}$, tanto a partir de tabelas (b)(c) como a partir das medições do próprio investigador. Esses fragmentos (por exemplo, heterociclos, antraquinona, azobenzene) podem ser combinados depois com os valores π segundo Hansch ou com as constantes dos fragmentos segundo Rekker ou Leo.

Observações

- i) Os métodos de cálculo apenas podem ser aplicados a compostos parcial ou totalmente ionizados no caso de ser possível tomar em consideração os necessários factores de correcção;
- ii) No caso de se admitir a existência de ligações intramoleculares entre átomos de hidrogénio é necessário adicionar (a) os correspondentes termos de correcção (aproximadamente + 0,6 a + 1,0 unidades $\log P_{oa}$). As indicações para a presença dessas ligações podem ser obtidas a partir de modelos espaciais ou a partir de dados espectroscópicos da molécula;
- iii) No caso de serem possíveis diversas formas tautoméricas, deve-se utilizar a forma mais provável como base de cálculo;

- iv) As revisões das listagens de constantes de fragmentos deverão ser acompanhadas cuidadosamente.

Relatório

No caso de se utilizar métodos de cálculo/estimação o relatório do ensaio deverá, se possível, conter a informação seguinte:

- descrição da substância (mistura, impurezas, etc.),
- indicação de quaisquer possíveis ligações intramoleculares entre átomos de hidrogénio, dissociação, carga e quaisquer outros efeitos extraordinários (por exemplo, tautomerismo),
- descrição do método de cálculo,
- identificação ou fonte da base de dados,
- peculiaridades na escolha dos fragmentos,
- documentação compreensiva relativa aos cálculos.

BIBLIOGRAFIA

- (a) W.J. Lyman, W.F. Reehl and D.H. Rosenblatt (ed.), Handbook of Chemical Property Estimation Methods, McGraw-Hill, New York, 1983.
- (b) Pomona College, Medicinal Chemistry Project, Claremont, California 91711, USA, Log P Database and Med. Chem. Software (Program CLOGP-3).
- (c) C. Hansch, A.J. Leo, Substituent Constants for Correlation Analysis in Chemistry and Biology, John Wiley, New York, 1979.
- (d) A. Leo, C. Hansch, D. Elkins, Chem. Rev., 1971, vol. 71, p. 525.
- (e) R.F. Rekker, H.M. de Kort, Eur. J. Med. Chem. — Chim. Ther. 1979, vol. 14, p. 479.
- (f) T. Fujita, J. Iwasa and C. Hansch, J. Amer. Chem. Soc., 1964, vol. 86, p. 5175.
- (g) R.F. Rekker, The Hydrophobic Fragmental Constant, Pharmacochemistry Library, Elsevier, New York, 1977, vol. 1.
- (h) C.V. Eadsforth, P. Moser, Chemosphere, 1983, vol. 12, p. 1459.
- (i) R.A. Scherrer, ACS — American Chemical Society, Washington D.C., 1984, Symposium Series 255, p. 225.

Apêndice 2

Substâncias de referência recomendadas para o método de HPLC

	Substância de referência 2-butanona	log P _{oa}	pKa
1	2-butanona	0,3	
2	4-acetilpiridina	0,5	
3	anilina	0,9	
4	acetanilida	1,0	
5	álcool benzílico	1,1	
6	p-metoxifenol	1,3	pKa = 10,26
7	ácido fenoxi-acético	1,4	pKa = 3,12
8	fenol	1,5	pKa = 9,92
9	2,4-dinitrofenol	1,5	pKa = 3,96
10	benzonitrilo	1,6	
11	fenilacetonnitrilo	1,6	
12	álcool 4-metilbenzílico	1,6	
13	acetofenona	1,7	
14	2-nitrofenol	1,8	pKa = 7,17
15	ácido 3-nitrobenzóico	1,8	pKa = 3,47
16	4-cloranilina	1,8	pKa = 4,15
17	nitrobenzeno	1,9	
18	álcool cinâmico	1,9	
19	ácido benzóico	1,9	pKa = 4,19
20	p-cresol	1,9	pKa = 10,17
21	ácido cinâmico	2,1	pKa = 3,89 cis 4,44 trans
22	anisol	2,1	
23	benzoato de metilo	2,1	
24	benzeno	2,1	
25	ácido 3-metilbenzóico	2,4	pKa = 4,27
26	4-clorofenol	2,4	pKa = 9,1
27	tricloroetileno	2,4	
28	atrazina	2,6	
29	benzoato de etilo	2,6	
30	2,6-diclorobenzonitrilo	2,6	
31	ácido 3-clorobenzóico	2,7	pKa = 3,82
32	tolueno	2,7	
33	1-naftol	2,7	pKa = 9,34
34	2,3-dicloroanilina	2,8	
35	clorobenzeno	2,8	
36	éter alil-fenílico	2,9	
37	bromobenzeno	3,0	
38	etilbenzeno	3,2	
39	benzofenona	3,2	
40	4-fenilfenol	3,2	pKa = 9,54
41	timol	3,3	

	Substância de referência 2-butanona	log P _{oa}	pKa
42	1,4-diclorobenzeno	3,4	
43	difenilamina	3,4	pKa = 0,79
44	naftaleno	3,6	
45	benzoato de fenilo	3,6	
46	isopropilbenzeno	3,7	
47	2,4,6-triclorofenol	3,7	pKa = 6
48	bifenilo	4,0	
49	benzoato de benzilo	4,0	
50	2,4-dinitro-6-sec-butil-fenol	4,1	
51	1,2,4-tricloro-benzeno	4,2	
52	ácido dodecanóico	4,2	
53	éter difenílico	4,2	
54	n-butil-benzeno	4,5	
55	fenantreno	4,5	
56	fluoranteno	4,7	
57	dibenzilo	4,8	
58	2,6-difenilpiridina	4,9	
59	trifenilamina	5,7	
60	DDT	6,2	
Outras substâncias de referência de baixo valor log P _{oa}			
1	ácido nicotínico	- 0,07	

A.9. PONTO DE INFLAMAÇÃO

1. MÉTODO

1.1. INTRODUÇÃO

É útil possuir informação preliminar sobre a inflamabilidade da substância antes de se efectuar este ensaio. O procedimento de ensaio aplica-se a substâncias líquidas cujos vapores possam ser inflamados por fontes de ignição. Os métodos de ensaio enumerados neste texto são apenas fiáveis para os intervalos de pontos de inflamação especificados nos métodos individuais.

Deve tomar-se em consideração a possibilidade de ocorrência de reacções químicas entre a substância e o suporte da amostra quando se selecciona o método a utilizar.

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

O ponto de inflamação é a menor temperatura, corrigida para a pressão de 101,325 kPa, à qual um líquido liberta vapores, sob as condições definidas no método de ensaio, numa quantidade tal que se produz no recipiente de ensaio uma mistura ar/vapor inflamável.

Unidades: °C

$$t = T - 273,15$$

(t em °C e T em K)

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Não é necessário utilizar substâncias de referência quando se está a investigar uma nova substância. Essas substâncias servem essencialmente para verificar, de vez em quando, as características de execução do método e para proporcionar a comparação com resultados obtidos com outros métodos.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO

Coloca-se a substância no recipiente de ensaio e aquece-se ou arrefece-se até à temperatura de ensaio de acordo com o procedimento descrito no método de ensaio individual. Efectuam-se diversas tentativas para provocar a ignição no sentido de se determinar se a amostra é ou não é inflamável à temperatura de ensaio.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

1.5.1. Repetitividade

A repetitividade varia de acordo com o intervalo de pontos de inflamação e com o método de ensaio utilizado; máximo 2 °C.

1.5.2. Sensibilidade

A sensibilidade depende do método de ensaio utilizado.

1.5.3. Especificidade

A especificidade de alguns métodos de ensaio está limitada a certos intervalos de pontos de inflamação e sujeita a dados associados à substância (por exemplo, viscosidade elevada).

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

1.6.1. Preparações

Coloca-se uma amostra da substância de ensaio num aparelho de teste de acordo com 1.6.3.1. e/ou 1.6.3.2.

Por razões de segurança recomenda-se que no caso das substâncias energéticas ou tóxicas se pratique um método que utilize uma pequena quantidade de amostra, cerca de 2 cm³.

1.6.2. Condições de ensaio

Tanto quanto for possível por razões de segurança, o aparelho deverá ser colocado numa posição livre de correntes de ar.

1.6.3. Realização do ensaio**1.6.3.1. Método de equilíbrio**

Ver ISO 1516, ISO 3680, ISO 1523, ISO 3679.

1.6.3.2. Método de não equilíbrio

Aparelho de Abel:

Ver BS 2000 parte 170, NF M07-011, NF T66-009.

Aparelho de Abel-Pensky:

Ver EN 57, DIN 51755 parte 1 (para temperaturas entre 5 e 65 °C), DIN 51755 parte 2 (para temperaturas inferiores a 5 °C), NF M07-036.

Aparelho de Tag:

Ver ASTM D 56.

Aparelho de Pensky-Martens:

Ver ISO 2719, EN 11, DIN 51758, ASTM D 93, BS 2000-34, NF M07-019.

Observações:

No caso de se verificar que o ponto de inflamação, determinado por um método de não equilíbrio em 1.6.3.2., possui os valores 0 ± 2 °C, 21 ± 2 °C ou 55 ± 2 °C, deve fazer-se a sua confirmação recorrendo a um método de equilíbrio que utilize o mesmo aparelho.

Apenas os métodos que possam proporcionar os valores de temperatura do ponto de inflamação podem ser utilizados para uma notificação.

Para se determinar o ponto de inflamação de líquidos viscosos (tintas, gomas e análogos) contendo solventes, apenas se pode utilizar aparelhos e métodos de ensaio adequados para a determinação dos pontos de inflamação de líquidos viscosos.

Ver ISO 3679, ISO 3680, ISO 1523, DIN 53213 parte 1.

2. RESULTADOS**3. RELATÓRIO**

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

- a especificação exacta da substância (identificação e impurezas),
- deve especificar-se o método utilizado e bem assim quaisquer desvios possíveis,
- os resultados e quaisquer observações adicionais relevantes para a interpretação dos resultados.

4. REFERÊNCIAS

Nenhuma.

A.10. INFLAMABILIDADE (SÓLIDOS)

1. MÉTODO

1.1. INTRODUÇÃO

Considera-se útil possuir informações preliminares sobre as propriedades potencialmente explosivas da substância antes de se efectuar este ensaio.

Este ensaio apenas deverá ser aplicado a substâncias pulverulentas, granuladas ou pastosas.

No sentido de não se incluírem todas as substâncias que podem ser inflamadas, mas apenas aquelas que ardem rapidamente ou aquelas cuja combustão é de alguma forma especialmente perigosa, apenas as substâncias cuja velocidade de combustão excede um determinado valor limite são consideradas altamente inflamáveis.

Pode ser especialmente perigosa qualquer situação em que a incandescência se propague através de um metal em pó, devido às dificuldades em extinguir o fogo. Os pós de metais deverão ser considerados altamente inflamáveis se permitirem a propagação da incandescência através da sua massa, num intervalo de tempo específico.

1.2. DEFINIÇÃO E UNIDADES

O tempo de combustão exprime-se em segundos.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Não especificadas.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO

Dispõe-se a substância numa fita inquebrável ou num rastilho de pó com aproximadamente 250 mm de comprimento e efectua-se um ensaio preliminar para se determinar se ao provocar-se a ignição com uma chama de gás existe propagação por combustão rápida ou por combustão lenta. Se ocorrer a propagação da combustão ao longo de 200 mm do rastilho no decurso de um intervalo específico de tempo, efectua-se seguidamente o programa de ensaio total para se determinar a velocidade de combustão.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

Não especificados.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

1.6.1. Ensaio preliminar

Dispõe-se a substância numa fita inquebrável ou num rastilho de pó com aproximadamente 250 mm de comprimento por 20 mm de largura e por 10 mm de altura, sobre uma placa não combustível, não porosa e de fraca condutividade térmica. Aplica-se a uma extremidade do rastilho de pó uma chama de um queimador de gás (diâmetro mínimo de 5 mm) até o pó iniciar a ignição ou durante um período máximo de 2 minutos (5 minutos para pós de metais ou de ligas metálicas). Deve verificar-se se a combustão se propaga ao longo de 200 mm do rastilho no período de tempo do ensaio correspondente a 4 minutos (ou 40 minutos para os pós de metais). No caso de a substância não se inflamar e não houver propagação de combustão, quer por combustão viva, quer por combustão lenta, ao longo de 200 mm do rastilho de pó no período de ensaio correspondente a 4 minutos (ou 40 minutos), então a substância não deverá ser considerada altamente inflamável e não será necessário mais qualquer ensaio. Se a substância propagar a combustão ao longo de 200 mm do rastilho de pó em menos de 4 minutos ou em menos de 40 minutos no caso dos pós de metais, deve dar-se continuidade ao procedimento a seguir descrito (ponto 1.6.2 e seguintes).

1.6.2. Ensaio da velocidade de combustão

1.6.2.1. Preparação

Enche-se livremente com as substâncias pulverulentas ou granuladas um molde de 250 mm de comprimento com uma secção transversal triangular cuja altura interna é de 10 mm e cuja largura é de 20 mm. De ambos os lados do molde, segundo uma direcção longitudinal, faz-se a montagem de duas placas metálicas que constituem limitações laterais e as quais se projectam 2 mm para além da aresta superior da secção recta triangular (ver figura). Depois deixa-se cair o molde três vezes de uma altura de 2 cm sobre uma superfície sólida. Se necessário completa-se depois o enchimento do molde. Efectua-se depois a remoção das limitações

laterais e retira-se o excesso de substância. Na parte superior do molde coloca-se uma placa não combustível, não porosa e de baixa condutividade térmica, inverte-se o aparelho e remove-se o molde.

As substâncias pastosas são dispostas sobre uma placa não combustível, não porosa e de baixa condutividade térmica na forma de um cordão de 250 mm de comprimento possuindo uma secção transversal de aproximadamente 1 cm².

1.6.2.2. *Condições de ensaio*

No caso de se tratar de uma substância sensível à humidade o ensaio deverá ser efectuado tão rapidamente quanto possível após a sua remoção do recipiente.

1.6.2.3. *Realização do ensaio*

Coloca-se a pilha numa zona de um sistema de exaustão de fumos.

A velocidade do ar deverá ser suficiente para evitar que os fumos escapem para o interior do laboratório e não deverá variar durante o ensaio. Em torno do aparelho deverá ser instalada uma blindagem em forma de chaminé.

Para iniciar a ignição da pilha numa das suas extremidades utiliza-se uma chama de um queimador de gás (diâmetro mínimo de 5 mm). Depois de a pilha ter ardido numa extensão de 80 mm, mede-se a velocidade de combustão nos 100 mm seguintes.

Efectua-se o ensaio seis vezes, utilizando-se de cada vez uma placa fria limpa, a não ser que se observe um resultado positivo mais cedo.

2. **RESULTADOS**

O tempo de combustão determinado no ensaio preliminar (1.6.1.) e o tempo mais curto de combustão observado nos seis ensaios (1.6.2.3.) são relevantes para a avaliação.

3. **RELATÓRIO**

3.1. **RELATÓRIO DO ENSAIO**

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

- especificação exacta da substância (identificação e impurezas),
- uma descrição da substância que se pretende ensaiar, o seu estado físico incluindo o teor em humidade,
- os resultados do ensaio preliminar e do ensaio da velocidade de combustão, se tiverem sido efectuados,
- todas as observações adicionais relevantes para a interpretação dos resultados.

3.2. **INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS**

As substâncias pulverulentas, granuladas ou pastosas são consideradas altamente inflamáveis no caso de o tempo de combustão em quaisquer ensaios efectuados de acordo com o procedimento de ensaio descrito em 1.6.2. ser inferior a 45 segundos. Os pós de metais ou de ligas metálicas são considerados altamente inflamáveis no caso de poderem ser inflamados e de a chama ou a zona de reacção se propagar a toda a amostra em 10 minutos ou menos.

4. **REFERÊNCIAS**

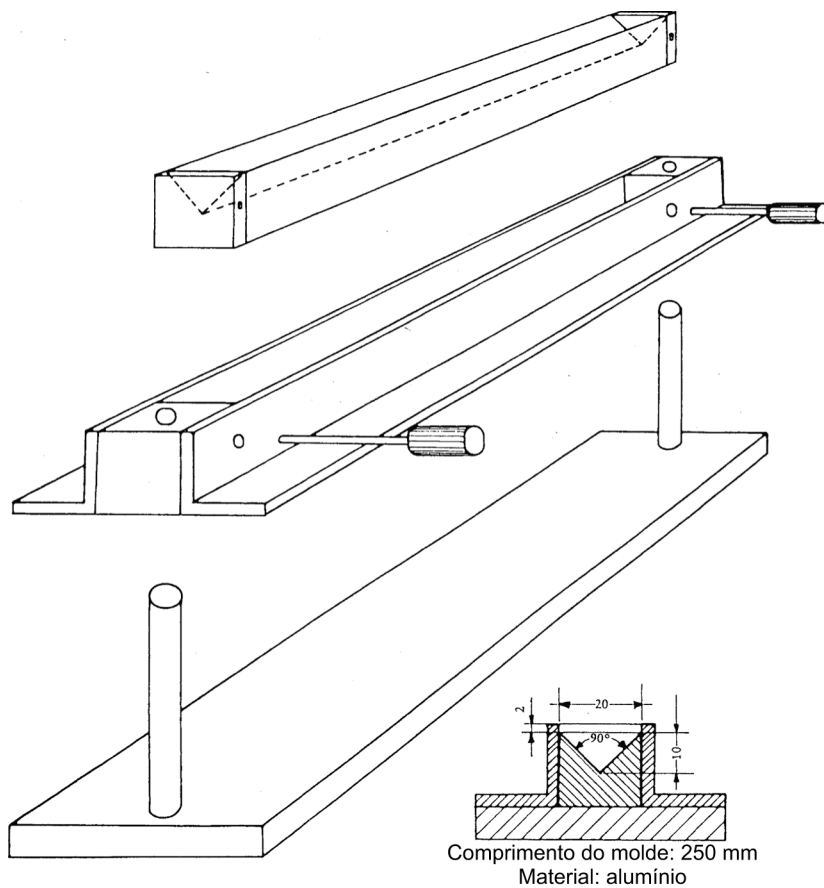
(1) NF T 20-042 (Sept. 85). Chemical products for industrial use. Determination of the flammability of solids.

Apêndice

Figura

Molde e acessórios para a preparação da pilha

(Todas as dimensões estão em milímetros)



A.11. INFLAMABILIDADE (GASES)

1. MÉTODO

1.1. INTRODUÇÃO

Este método permite determinar se os gases misturados com ar à temperatura ambiente (cerca de 20 °C) e à pressão atmosférica são inflamáveis e, em caso afirmativo, qual o intervalo de concentrações. As misturas de concentrações crescentes do gás com ar são expostas a uma faísca eléctrica e observa-se a eventual ocorrência de ignição.

1.2. DEFINIÇÃO E UNIDADES

O intervalo de inflamabilidade é o intervalo de concentrações entre os limites inferior e superior de explosão. Os limites inferior e superior de explosão são os limites de concentração do gás inflamável misturado com ar para cujos valores não ocorre a propagação da chama.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Não especificadas.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO

Aumenta-se gradualmente a concentração do gás em ar e expõe-se a mistura escalonadamente à acção de uma faísca eléctrica.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

Não especificados.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

1.6.1. Aparelho

O recipiente de ensaio é um cilindro de vidro colocado em posição vertical, possuindo um diâmetro interno mínimo de 50 mm e uma altura mínima de 300 mm. Os eléctrodos de ignição encontram-se separados por uma distância de 3 a 5 mm e estão colocados 60 mm acima do fundo do cilindro. O cilindro possui uma abertura para a libertação de pressão. O aparelho deve ser protegido por uma blindagem para minimizar quaisquer danos provocados pela explosão.

Como fonte de ignição utiliza-se uma faísca de indução com a duração de 0,5 segundo, que é gerada por um transformador de alta tensão com uma tensão de saída compreendida entre 10 e 15 kV (potência máxima de entrada da ordem de 300 W). Na referência (2) encontra-se descrito um exemplo de um aparelho adequado.

1.6.2. Condições de ensaio

O ensaio deve ser efectuado à temperatura ambiente (cerca de 20 °C).

1.6.3. Realização do ensaio

Utilizando bombas doseadoras introduz-se no cilindro de vidro uma concentração conhecida de gás em ar. Provoca-se uma faísca na mistura e verifica-se se ocorre ou não a existência de uma chama que se separa da fonte de ignição e se propaga independentemente. Faz-se variar a concentração do gás por escalões de 1 % em volume até que haja ocorrência de ignição conforme anteriormente descrito.

No caso de a estrutura química do gás indicar que poderá ser eventualmente não inflamável e de se poder calcular a composição da mistura estequiométrica com ar, apenas será necessário ensaiar em escalões de 1 % misturas compreendidas no intervalo entre 10 % menos do que a composição estequiométrica e 10 % mais do que essa composição.

2. RESULTADOS

A ocorrência de propagação da chama é a única informação relevante para a determinação desta propriedade.

3. RELATÓRIO

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

- a especificação exacta da substância (identificação e impurezas),
- uma descrição, com dimensões, do aparelho utilizado,
- a temperatura a que se efectuou o ensaio,
- as concentrações de ensaio e os resultados obtidos,
- o resultado do ensaio: gás não inflamável ou gás altamente inflamável,
- no caso de se ter concluído que o gás é não inflamável, deverá especificar-se então o intervalo de concentrações no qual foi ensaiado em escalões de 1 %,
- toda a informação e observações relevantes para a interpretação dos resultados.

4. REFERÊNCIAS

- (1) NF T 20-041 (Sept. 85). Chemical products for industrial use. Determination of the flammability of gases.
- (2) W. Berthold, D. Conrad, T. Grewer, H. Grosse-Wortmann, T. Redeker und H.Schacke. «Entwicklung einer Standard-Apparatur zur Messung von Explosionsgrenzen». Chem.-Ing.-Tech. 1984, vol. 56, 2, p. 126-127.

A.12. INFLAMABILIDADE (CONTACTO COM ÁGUA)

1. MÉTODO

1.1. INTRODUÇÃO

Este método de ensaio pode ser utilizado para se determinar se a reacção de uma substância com água ou com ar húmido origina o desenvolvimento de quantidades perigosas de um gás ou de gases que possam ser altamente inflamáveis.

O método de ensaio pode ser aplicado tanto a substâncias sólidas como a substâncias líquidas. Este método não é aplicável a substâncias cuja ignição seja espontânea quando em contacto com o ar.

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

Altamente inflamável: substâncias que em contacto com água ou com ar húmido libertam gases altamente inflamáveis em quantidades perigosas numa proporção mínima de 1 litro/kg por hora.

1.3. PRINCÍPIO DO MÉTODO

Ensaia-se a substância de acordo com os passos sequenciais adiante descritos: se ocorrer ignição em qualquer desses passos não é necessário continuar o ensaio. No caso de se saber já que a substância não reage violentamente com a água, prosseguir com o passo 4 (1.3.4.).

1.3.1. Passo 1

Coloca-se a substância de ensaio numa tina contendo água destilada à temperatura de 20°C e verifica-se se ocorre ou não o início da combustão do gás libertado.

1.3.2. Passo 2

Coloca-se a substância de ensaio sobre uma folha de papel de filtro flutuando sobre a superfície da água destilada contida num prato, à temperatura de 20 °C, e observa-se se ocorre ou não o início da combustão do gás libertado. O papel de filtro destina-se apenas a manter a substância num determinado local para aumentar as probabilidades de ocorrência de ignição.

1.3.3. Passo 3

Com a substância de ensaio prepara-se uma pilha com aproximadamente 2 cm de altura e 3 cm de diâmetro. Verte-se nessa pilha algumas gotas de água e observa-se se há ou não ocorrência de início de combustão do gás libertado.

1.3.4. Passo 4

Mistura-se a substância a ensaiar com água destilada à temperatura de 20 °C e mede-se a velocidade de libertação de gás durante um período de sete horas, em intervalos de uma hora. Se essa taxa de libertação de gás for errática ou no caso de ser crescente decorridas as sete horas, deverá prolongar-se o tempo de medição até ao máximo de cinco dias. O ensaio pode ser interrompido se em qualquer momento essa taxa exceder 1 litro/kg por hora.

1.4. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Não especificadas.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

Não especificados.

1.6. DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS

1.6.1. **Passo 1**

1.6.1.1. *Condições de ensaio*

Efectua-se o ensaio à temperatura ambiente (cerca de 20 °C).

1.6.1.2. *Realização do ensaio*

Deve-se colocar uma pequena quantidade (aproximadamente com 2 mm de diâmetro) da substância de ensaio numa tina contendo água destilada. Deve-se anotar (i) qualquer eventual libertação de gás e (ii) a eventual ocorrência de ignição do gás. No caso de ocorrer ignição do gás não é necessário continuar o ensaio da substância uma vez que esta é considerada perigosa.

1.6.2. **Passo 2**

1.6.2.1. *Aparelho*

Utiliza-se um papel de filtro flutuando sobre a superfície de água destilada contida em qualquer recipiente adequado, por exemplo, um prato de evaporação com o diâmetro de 100 mm.

1.6.2.2. *Condições de ensaio*

Efectua-se o ensaio à temperatura ambiente (cerca de 20 °C).

1.6.2.3. *Realização do ensaio*

Coloca-se no centro da folha de papel de filtro uma pequena quantidade da substância de ensaio (aproximadamente com 2 mm de diâmetro). Deve-se anotar se ocorre (i) qualquer eventual libertação de gás e (ii) se ocorre ignição desse gás. Se ocorrer a ignição do gás não é necessário continuar o ensaio da substância, uma vez que esta é considerada perigosa.

1.6.3. **Passo 3**

1.6.3.1. *Condições de ensaio*

Efectua-se o ensaio à temperatura ambiente (cerca de 20 °C).

1.6.3.2. *Realização do ensaio*

Com a substância de ensaio prepara-se uma pilha com aproximadamente 2 cm de altura e 3 cm de diâmetro com um entalhe na parte superior. Verte-se na perfuração algumas gotas de água e verifica-se (i) se ocorre eventualmente qualquer libertação de gás e (ii) se ocorre ignição desse gás. Se ocorrer ignição do gás não é necessário continuar o ensaio da substância uma vez que esta é considerada perigosa.

1.6.4. **Passo 4**

1.6.4.1. *Aparelho*

O aparelho tem a configuração que se mostra na figura.

1.6.4.2. *Condições de ensaio*

Procede-se a uma inspecção da embalagem para verificação da existência de pó (dimensão das partículas < 500 µm) da substância de ensaio. Se o pó constituir mais do que 1 % p/p do total, ou se a amostra for friável, então dever-se-á triturar toda a substância reduzindo-a a pó antes do ensaio de modo a proporcionar uma redução das dimensões das partículas durante o armazenamento e o manuseamento; caso contrário faz-se o ensaio da substância tal como foi recebida. O ensaio deverá ser efectuado à temperatura ambiente (cerca de 20°C) e à pressão atmosférica.

1.6.4.3. Realização do ensaio

Coloca-se 10 a 20 ml de água no funil de gotejamento do aparelho e coloca-se 10 g de substância no frasco cónico. Pode-se medir o volume de gás libertado recorrendo a meios adequados. Abre-se a torneira do funil de gotejamento para deixar entrar a água no frasco cónico e põe-se em funcionamento um cronómetro. Mede-se a libertação de gás em cada hora durante um período de sete horas. No caso da libertação de gás durante esse período ser errática ou no caso de no fim desse período a taxa de libertação de gás ser crescente, então dever-se-á continuar a efectuar medições durante cinco dias. Se em qualquer momento do período de medição a taxa de libertação de gás exceder 1 litro/kg por hora pode-se interromper o ensaio. Este ensaio deverá ser efectuado em triplicado.

No caso de ser desconhecida a identidade do gás, deve-se proceder a uma análise desse gás. No caso de o gás conter componentes altamente inflamáveis e de não se saber se a mistura global é altamente inflamável, deve-se preparar uma mistura da mesma composição e ensaiar-se de acordo com o método A.11.

2. RESULTADOS

A substância é considerada perigosa se:

- ocorrer ignição espontânea em qualquer passo do procedimento de ensaio,
- ou
- ocorrer libertação de gás inflamável a uma taxa superior a 1 litro/kg de substância por hora.

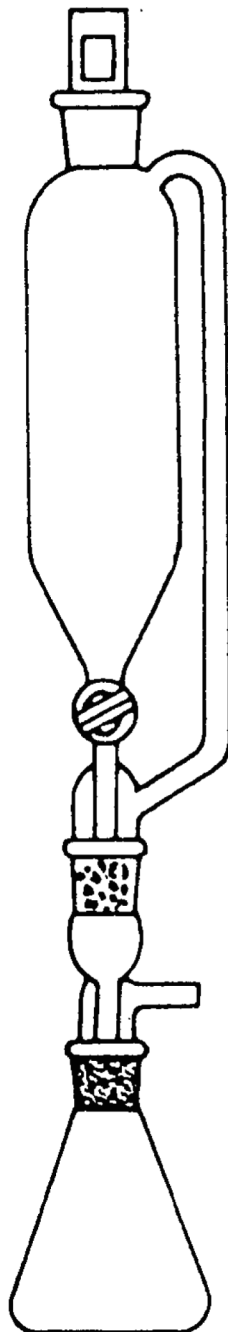
3. RELATÓRIO

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

- a especificação exacta da substância (identificação e impurezas),
- pormenores sobre qualquer preparação inicial da substância de ensaio,
- os resultados dos ensaios (passos 1, 2, 3 e 4),
- a identidade química do gás libertado,
- a taxa de libertação de gás no caso de se realizar o passo 4 (1.6.4.),
- quaisquer observações adicionais relevantes para a interpretação dos resultados.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Recommendations on the Transport of Dangerous Goods, Test and Criteria, 1990, United Nations, New York.
- (2) NF T 20-040 (Sept. 85). Chemical products for industrial use. Determination of the flammability of gases formed by the hydrolysis of solid and liquid products.

*Apêndice**Figura***Aparelho**

A.13 PROPRIEDADES PIROFÓRICAS DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS

1. MÉTODO

1.1. INTRODUÇÃO

O procedimento de ensaio é aplicável a substâncias sólidas ou líquidas as quais, em pequenas quantidades, entram espontaneamente em combustão, decorrido um curto período de tempo após estarem em contacto com o ar à temperatura ambiente (cerca de 20 °C).

As substâncias que necessitem de estar expostas ao ar durante diversas horas ou dias, à temperatura ambiente ou a temperaturas elevadas, antes que ocorra a ignição, não estão abrangidas por este método.

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

Considera-se que uma substância possui propriedades pirofóricas se entrar em combustão ou se carbonizar sob as condições descritas em 1.6.

Pode ser necessário ensaiar também a auto-inflamabilidade de líquidos utilizando o método A.15 relativo à temperatura de auto-ignição (líquidos e gases).

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Não especificadas.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO

Adiciona-se a substância, no estado sólido ou no estado líquido, a um veículo inerte e coloca-se em contacto com o ar à temperatura ambiente durante um período de cinco minutos. Se as substâncias líquidas não se inflamarem utiliza-se papel de filtro para as absorver e faz-se a exposição ao ar à temperatura ambiente (cerca de 20 °C) durante cinco minutos. No caso de uma substância sólida ou líquida se inflamar, ou no caso de um líquido se inflamar ou carbonizar uma folha de papel de filtro, então considera-se que essa substância é pirofórica.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

Repetitividade: devido à importância que assumem as questões relativas à segurança, um único resultado positivo é suficiente para que essa substância seja considerada pirofórica.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.6.1. Aparelho

Utiliza-se um vaso de porcelana com cerca de 10 cm de diâmetro e enche-se com terra de diatomáceas até cerca de 5 mm de altura, à temperatura ambiente (cerca de 20 °C).

Nota:

A terra de diatomáceas ou quaisquer outras substâncias inertes comparáveis geralmente disponíveis deverão ser consideradas como representativas do solo onde a substância de ensaio possa ser derramada em caso de acidente.

É necessário papel de filtro seco para ensaiar os líquidos que não se inflamem em contacto com o ar quando estão em contacto com um veículo inerte.

1.6.2. Realização do ensaio

a) Sólidos pulverulentos

De uma altura de cerca de 1 m deixa-se cair 1 a 2 cm³ da substância pulverulenta que se pretende ensaiar, sobre uma superfície não combustível e verifica-se a eventualidade dessa substância se inflamar durante a queda ou decorridos cinco minutos em repouso.

Efectua-se o ensaio seis vezes, salvo no caso de se observar combustão.

b) *Líquidos*

Verte-se no vaso de porcelana cerca de 5 cm³ do líquido que se pretende ensaiar e observa-se a eventual inflamação da substância no período de cinco minutos.

Se não houver inflamação nos seis ensaios, executam-se os ensaios seguintes:

Com o auxílio de uma seringa coloca-se 0,5 ml da amostra de ensaio num papel de filtro recortado e observa-se a eventual ocorrência de inflamação ou de carbonização do papel de filtro nos cinco minutos subsequentes à adição do líquido. Efectua-se o ensaio três vezes, salvo se ocorrer inflamação ou carbonização.

2. **RESULTADOS**

2.1. TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Pode interromper-se o processo de ensaio logo que ocorra um resultado positivo em qualquer dos ensaios.

2.2. AVALIAÇÃO

Se a substância se inflama no período de cinco minutos após ter sido adicionada a um veículo inerte e exposta ao ar, ou se uma substância líquida carboniza ou inflama um papel de filtro no período de cinco minutos após a adição e exposição ao ar, então considera-se que é pirofórica.

3. **RELATÓRIO**

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

- a especificação exacta da substância (identificação e impurezas),
- os resultados dos ensaios,
- quaisquer observações adicionais relevantes para a interpretação dos resultados.

4. **REFERÊNCIAS**

- (1) NF T 20-039 (Sept. 85). Chemical products for industrial use. Determination of the spontaneous flammability of solids and liquids.
- (2) Recommendations on the Transport of Dangerous Goods, Test and Criteria, 1990, United Nations, New York.

A.14. **PROPRIEDADES EXPLOSIVAS**1. **MÉTODO**1.1. **INTRODUÇÃO**

O método proporciona um sistema de ensaio para se determinar se uma substância sólida ou pastosa representa perigo de explosão quando submetida ao efeito de uma chama (sensibilidade térmica) ou quando submetida a choque ou fricção (sensibilidade a estímulos mecânicos) e se uma substância líquida representa perigo de explosão quando submetida ao efeito de uma chama ou choque.

O método decompõe-se em três partes:

- a) Um ensaio de sensibilidade térmica (1);
- b) Um ensaio de sensibilidade mecânica relativamente ao choque (1);
- c) Um ensaio de sensibilidade mecânica relativamente à fricção (1).

O método proporciona dados para se avaliar a possibilidade de se iniciar uma explosão por meio de diversos estímulos comuns. O método não pretende garantir que uma substância seja susceptível de explodir sob quaisquer condições.

O método é apropriado para se determinar se uma substância representa perigo de explosão (sensibilidade térmica e mecânica) sob as condições particulares especificadas na directiva. Esse método baseia-se em diversos tipos de aparelhos amplamente utilizados à escala internacional (1) e os quais proporcionam normalmente resultados significativos. Admite-se que o método não é definitivo. É possível utilizar aparelhos alternativos aos especificados desde que sejam internacionalmente aceites e desde que os resultados possam ser adequadamente correlacionados com os que se obtêm com o aparelho especificado.

Não é necessário efectuar os ensaios quando existir informação termodinâmica disponível (por exemplo, calor de formação, calor de decomposição) e/ou a ausência de diversos grupos reactivos (2) na fórmula estrutural permitir concluir, para além de quaisquer dúvidas razoáveis, que a substância é incapaz de sofrer decomposição rápida com libertação de gases ou libertação de calor (isto é, o material não representa qualquer risco de explosão). No caso dos líquidos não é necessário qualquer ensaio de sensibilidade mecânica relativamente à fricção.

1.2. **DEFINIÇÕES E UNIDADES**

Explosivo:

Substâncias que possam explodir sob o efeito de uma chama ou que sejam sensíveis ao choque ou à fricção no aparelho especificado (ou que sejam mecanicamente mais sensíveis do que o 1,3-dinitrobenzeno num aparelho alternativo).

1.3. **SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA**

O 1,3-dinitrobenzeno, produto cristalino técnico, peneirado de modo a poder passar por uma malha de 0,5 mm, no caso do método por fricção e choque.

A perhidro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazina (RDX, hexogéneo, ciclonite — CAS 121-82-4), cuja recristalização é feita a partir de uma solução aquosa de ciclohexanona, peneirada a húmido através de uma malha de 250 µm e retida num peneiro de malha de 150 µm, fazendo-se a secagem a 103 ± 2 °C (durante 4 horas) para a segunda série de ensaios de fricção e choque.

1.4. **PRINCÍPIO DO MÉTODO**

São necessários ensaios preliminares para se determinar as condições de segurança para a realização dos três ensaios de sensibilidade.

1.4.1. **Segurança na realização dos ensaios (3)**

Por razões de segurança, antes de se efectuarem os ensaios principais submetem-se amostras muito pequenas (cerca de 10 mg) da substância a aquecimento em ambiente não confinado, com uma chama de gás, à acção de choque em qualquer aparelho conveniente e à acção de fricção recorrendo à utilização de um malhete contra uma bigorna ou recorrendo à utilização de qualquer máquina de fricção. O objectivo consiste em determinar se a substância é tão sensível e explosiva que os ensaios de sensibilidade prescritos, particularmente o ensaio de sensibilidade térmica, devam ser efectuados com precauções especiais de modo a evitar ferimentos no operador.

1.4.2. Sensibilidade térmica

O método implica o aquecimento da substância num tubo de aço, tapado por placas perfuradas com furos de diferentes diâmetros, no sentido de se determinar se a substância é susceptível de explodir sob condições de aquecimento intenso e confinamento definido.

1.4.3. Sensibilidade mecânica (choque)

O método consiste em submeter a substância ao choque provocado por uma massa determinada caindo de uma altura determinada.

1.4.4. Sensibilidade mecânica (fricção)

O método consiste em submeter substâncias sólidas ou pastosas à fricção entre superfícies normalizadas sob condições específicas de carga e de movimento relativo.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

Não especificados.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO**1.6.1. Sensibilidade térmica (efeito de uma chama)****1.6.1.1. Aparelho**

O aparelho é constituído por um tubo de aço não reutilizável com o seu dispositivo de fecho reutilizável (figura 1), instalado num dispositivo de aquecimento e de protecção. Cada tubo é constituído por folha de aço de estiramento profundo (ver apêndice) e possui um diâmetro interno de 24 mm, um comprimento de 75 mm e paredes com espessura de 0,5 mm. Os tubos possuem uma flange na extremidade aberta para permitir que sejam fechados pelo corpo da placa perfurada. Esse corpo é constituído por uma placa perfurada resistente à pressão, possuindo um furo central, presa firmemente a um tubo por meio de uma peça roscada de duas partes (porca e manga roscada). A porca e a manga roscada são feitas de aço de cromo e manganês (ver apêndice), que não produz faíscas até à temperatura de 800 °C. As placas perfuradas possuem 6 mm de espessura, são feitas de aço resistente ao calor (ver apêndice) e encontram-se disponíveis com perfurações de diversos diâmetros.

1.6.1.2. Condições de ensaio

Normalmente ensaia-se a substância tal como é recebida, embora em alguns casos a substância após trituração seja, por exemplo, comprimida, moldada ou aglomerada por qualquer outra forma, necessária para o ensaio.

No caso dos sólidos determina-se a massa de material a utilizar em cada ensaio recorrendo a um procedimento experimental a seco em dois andares. Enche-se com 9 cm³ de substância um tubo de tara determinada e carrega-se a substância com uma força de 80 N aplicada a toda a secção transversal do tubo. Por razões de segurança ou nos casos em que a forma física da amostra possa ser modificada por compressão, pode recorrer-se a outros procedimentos de enchimento; por exemplo, se a substância for muito sensível à fricção o enchimento pelo método de embuchar não é apropriado. Se o material for compressível adiciona-se mais e carrega-se enchendo-se o tubo até à distância de 55 mm medida a partir da parte superior. Determina-se a massa total utilizada para encher o tubo até àquele nível de 55 mm e adiciona-se mais duas porções carregando-se qualquer delas com a força de 80 N. Depois, ou se adiciona mais material ou se retira, conforme necessário, deixando o tubo cheio até ao nível de 15 mm medidos a partir da parte superior. Realiza-se uma segunda experiência a seco, começando com uma quantidade carregada correspondente a um terço da massa total determinada na primeira experiência a seco. Adiciona-se mais duas porções dessas utilizando uma força de 80 N e ajusta-se o nível da substância no tubo até à distância de 15 mm, medida desde a parte superior, por adição ou por subtracção de material conforme necessário. A quantidade de sólido determinada na segunda experiência a seco é utilizada para cada ensaio; o enchimento efectua-se com três quantidades iguais, qualquer delas comprimida até ao volume de 9 cm³ utilizando-se a força que for necessária (isto pode ser facilitado utilizando anéis espaçadores).

Os líquidos e os geles são carregados no tubo até à altura de 60 mm tomando-se precauções particulares com os geles para se evitar a formação de espaços ociosos. Faz-se deslizar a manga roscada pelo tubo, pela parte de baixo, insere-se a placa perfurada apropriada e aperta-se a porca depois de se ter aplicado um pouco de lubrificante à base de dissulfureto de molibdénio. É essencial verificar que não haja quaisquer vestígios de substância retida entre a flange e a placa, ou nas roscas.

O aquecimento é proporcionado por uma chama de gás propano obtido em garrafa de gás industrial, equipada com um regulador de pressão (60 a 70 mbar), que passa através de uma válvula calibradora e é distribuído uniformemente (conforme indicado por observação visual das chamas dos queimadores) a quatro queimadores através de um cano distribuidor. Os queimadores estão localizados em torno da câmara de ensaio conforme se mostra na figura 1. Os quatro queimadores conjuntamente possuem um consumo de aproximadamente 3,2 litros de propano por minuto. É possível utilizar outros queimadores e gases combustíveis alternativos mas o regime de aquecimento deve ser conforme especificado na figura 3. Para todos os aparelhos o regime de aquecimento deve ser verificado periodicamente utilizando tubos cheios com ftalato de dibutilo conforme se indica na figura 3.

1.6.1.3. Realização dos ensaios

Cada ensaio é efectuado até o tubo se fragmentar ou até o tubo ter sido aquecido durante cinco minutos. Um ensaio que tenha como consequência a fragmentação do tubo em três ou mais partes, as quais podem em alguns casos ser unidas umas às outras utilizando estreitas fitas de metal, conforme se ilustra na figura 2, é considerado do tipo explosivo. Um ensaio que tenha como consequência menos fragmentos ou ausência de fragmentação é considerado como sendo do tipo não explosivo.

Efectua-se primeiro uma série de três ensaios com uma placa cujo diâmetro do orifício seja de 6,0 mm e se não se obtiver qualquer explosão efectua-se uma segunda série de três ensaios com uma placa cujo diâmetro do orifício seja de 2,0 mm. Se ocorrer uma explosão durante quaisquer das séries de ensaio, não é necessário efectuar mais ensaios.

1.6.1.4. Avaliação

Considera-se que o resultado do ensaio é positivo se ocorrer uma explosão em qualquer das anteriores séries de ensaios.

1.6.2. Sensibilidade mecânica (choque)

1.6.2.1. Aparelho (figura 4)

As partes essenciais de um aparelho de martelo cadente típico são um bloco de aço moldado com base, bigorna, coluna, guias, massas cadentes, dispositivo de libertação e um suporte para a amostra. A bigorna de aço de 100 mm (diâmetro) × 70 mm (altura) é enroscada à parte superior de um bloco de aço de 230 mm (comprimento) × 250 mm (largura) × 200 mm (altura) com uma base moldada de 450 mm (comprimento) × 450 mm (largura) × 60 mm (altura). Num suporte aparafusado à parte posterior do bloco de aço prende-se uma coluna feita de tubo de aço estirado sem juntas. Quatro parafusos prendem o aparelho a um sólido bloco de cimento de 60 × 60 × 60 cm de tal modo que as guias são absolutamente verticais e a massa cadente cai livremente. Existem disponíveis para utilização massas de 5 e 10 kg, feitas de aço. A cabeça batente de cada massa é feita de aço duro, HRC 60 a 63, e possui um diâmetro mínimo de 25 mm.

A amostra de ensaio é encerrada num dispositivo de choque constituído por dois cilindros de aço coaxiais, um sobre o outro, num guia de aço cilíndrico e oco. Os cilindros de aço deverão possuir um diâmetro de 10 (- 0,003, - 0,005) mm e uma altura de 10 mm e deverão possuir superfícies polidas, arestas arredondadas (raio de curvatura de 0,5 mm) e uma dureza de HRC 58 a 65. O cilindro oco deve possuir um diâmetro externo de 16 mm, um furo polido de 10 (+ 0,005, + 0,010) mm e uma altura de 13 mm. O dispositivo de choque é montado numa bigorna intermédia (26 mm de diâmetro e 26 mm de altura) feita de aço e centrada por um anel com perfurações para permitir o escape dos fumos.

1.6.2.2. Condições de ensaio

O volume da amostra deverá ser de 40 mm³ ou um volume que se ajuste a qualquer aparelho alternativo. As substâncias no estado sólido deverão ser testadas devidamente secas e preparadas do modo seguinte:

- As substâncias pulverizadas são peneiradas (malha com dimensões de 0,5 mm); toda a substância que passar pelo peneiro é utilizada no ensaio;
- As substâncias comprimidas, moldadas ou aglomeradas por qualquer outra forma são partidas em pequenas partes e peneiradas; a fracção peneirada com diâmetros compreendidos entre 0,5 e 1 mm é usada no ensaio e deverá ser representativa da substância original.

As substâncias normalmente fornecidas em pasta deverão ser ensaiadas no estado seco, quando possível, ou depois de remover a quantidade máxima possível de diluente. As substâncias líquidas são ensaiadas com o intervalo de 1 mm entre os cilindros de aço superior e inferior.

1.6.2.3. Realização dos ensaios

Realiza-se uma série de seis ensaios deixando cair uma massa de 10 kg, de uma altura de 0,4 m (40 J). Se ocorrer uma explosão durante os seis ensaios para o valor de 40 J deve realizar-se outra série de seis ensaios deixando cair uma massa de 5 kg e de uma altura de 0,15 m (7,5 J). Noutros aparelhos compara-se a amostra com a substância de referência escolhida utilizando um procedimento reconhecido (por exemplo, técnica de sobe-e-desce, etc.).

1.6.2.4. Avaliação

Considera-se positivo o resultado do ensaio se ocorrer uma explosão (o aparecimento súbito de uma chama e/ou uma repercussão é equivalente a uma explosão) pelo menos uma vez em qualquer dos ensaios com o aparelho de choque especificado ou considera-se que a amostra é mais sensível do que o composto 1,3-dinitrobenzeno ou RDX num ensaio de choque alternativo.

1.6.3. Sensibilidade mecânica (fricção)

1.6.3.1. Aparelho (figura 5)

O aparelho de fricção é constituído por uma placa de base de aço moldado sobre a qual se monta o dispositivo de fricção. Este é constituído por uma cavilha de porcelana fixa e por uma placa de porcelana móvel. A placa de porcelana é suportada por uma armação que desliza em duas guias. A armação é ligada a um motor eléctrico através de uma biela de ligação, um ressalto excêntrico e uma engrenagem adequada de tal modo que a placa de porcelana se move, uma vez apenas, para trás e para diante por baixo da cavilha de porcelana numa distância de 10 mm. A carga da cavilha de porcelana é de 120 a 360 newtons, por exemplo.

As placas lisas de porcelana são feitas de porcelana branca (rugosidade de 9 a 32 μm) e possuem as dimensões de 25 mm (comprimento) $\times$ 25 mm (largura) $\times$ 5 mm (altura). A cavilha cilíndrica de porcelana é feita também de porcelana branca e tem 15 mm de comprimento, possui um diâmetro de 10 mm e na extremidade esférica rugosa possui superfícies com um raio de curvatura de 10 mm.

1.6.3.2. Condições de ensaio

O volume da amostra deverá ser de 10 mm³ ou um volume ajustado a qualquer aparelho alternativo.

As substâncias sólidas são ensaiadas devidamente secas e preparadas do modo seguinte:

- a) As substâncias pulverizadas são peneiradas (com malha de 0,5 mm); utiliza-se no ensaio toda a substância que passe através do peneiro;
- b) As substâncias comprimidas, moldadas ou aglomeradas por qualquer outra forma são partidas em peças pequenas e peneiradas; utiliza-se para o ensaio a fracção peneirada de diâmetro < 0,5 mm.

As substâncias normalmente fornecidas em pasta deverão ser ensaiadas no estado seco, quando possível. Se a substância não pode ser preparada no estado seco, a pasta (depois de removida a quantidade máxima possível de diluente) é ensaiada na forma de uma película com 0,5 mm espessura, 2 mm de largura e 10 mm de comprimento preparada com uma matriz.

1.6.3.3. Realização dos ensaios

Coloca-se a cavilha de porcelana sobre a amostra submetida ao ensaio e aplica-se a carga. Ao efectuar-se o ensaio, as marcas esponjosas da placa de porcelana devem ficar transversais à direcção do movimento. Devem ser tomadas precauções para que a cavilha se ajuste sobre a amostra, para que haja material de ensaio suficiente sob a cavilha e também para que a placa se mova correctamente sob a cavilha. Para as substâncias pastosas utiliza-se um calibrador com 0,5 mm de espessura e com uma fenda de 2 $\times$ 10 mm para se aplicar a substância à placa. A placa de porcelana tem de se mover 10 mm para diante e para trás sob a cavilha de porcelana no tempo de 0,44 segundos. Cada parte da superfície da placa e da cavilha deve ser utilizada apenas uma vez; as duas extremidades de cada cavilha servirão para duas experiências e as duas superfícies de uma placa servirão, cada uma delas, para três experiências.

Efectua-se uma série de seis ensaios com uma carga de 360 N. Se ocorrer um evento positivo durante estes seis ensaios deve ser efectuada outra série de seis ensaios com uma carga de 120 N. Com outros aparelhos compara-se a amostra com a substância de referência escolhida utilizando um procedimento consagrado (por exemplo, técnica de sobe-e-desce, etc.).

1.6.3.4. Avaliação

Considera-se positivo o resultado do ensaio se ocorrer uma explosão (a crepitação e/ou uma repercussão ou o aparecimento súbito de uma chama são equivalentes a uma explosão) pelo menos uma vez em qualquer dos ensaios com o aparelho de fricção especificado ou se for satisfeito um critério equivalente num ensaio de fricção alternativo.

2. RESULTADOS

Em princípio considera-se que uma substância representa perigo de explosão no sentido da directiva se for obtido um resultado positivo no ensaio de sensibilidade térmica, de choque ou de fricção.

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

- identidade, composição, pureza, teor em humidade, etc., da substância ensaiada,
- a forma física da amostra e o facto eventual de ter sido triturada, quebrada e/ou peneirada,
- as observações durante os ensaios de sensibilidade térmica (por exemplo, a massa da amostra, o número de fragmentos, etc.),
- as observações efectuadas durante os ensaios de sensibilidade mecânica (por exemplo, a formação de quantidades consideráveis de fumos ou a decomposição completa sem repercussão, chamas, faíscas, crepitação, etc.),
- os resultados de cada tipo de ensaio,
- no caso de se ter utilizado um aparelho alternativo, o relatório deverá conter a justificação científica e também a evidência de correlação entre os resultados obtidos com o aparelho especificado e os resultados obtidos com o aparelho equivalente,
- quaisquer comentários úteis tais como as referências em ensaios com produtos idênticos e que possam ser relevantes para uma interpretação adequada dos resultados,
- todas as observações adicionais relevantes para a interpretação dos resultados.

3.2. INTERPRETAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

O relatório do ensaio deverá mencionar quaisquer resultados que sejam considerados falsos, anómalos ou não representativos. Se for necessário deduzir quaisquer dos resultados deverá descrever-se uma explicação e os resultados de ensaios alternativos ou complementares. Salvo nos casos em que possa ser explicado um resultado anómalo, deve aceitar-se o valor nominal e utilizar-se esse valor para classificar a substância em conformidade.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Recommendations on the Transport of Dangerous Goods: Tests and Criteria, 1990, United Nations, New York.
- (2) Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, 4th edition, Butterworths, London, ISBN 0-750-60103-5, 1990.
- (3) Koenen, H., Ide, K.H. and Swart, K.H., Explosivstoffe, 1961, vol. 3, p. 6-13 and p. 30-42.
- (4) NF T 20-038 (Sept. 85). Chemical products for industrial use — Determination of explosion risk.

Apêndice

Exemplo de especificação de material para o ensaio de sensibilidade térmica (ver DIN 1623)

- (1) Tubo: especificação de material n.º 1.0336.505 g.
- (2) Placa perfurada: especificação de material n.º 1.4873
- (3) Manga roscada e porca: especificação de material n.º 1.3817.

Figura 1

Aparelho para o ensaio da sensibilidade térmica

(Todas as dimensões estão em milímetros)

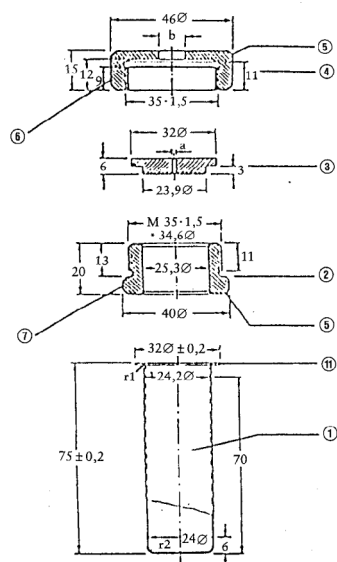


Figura 1a Tubo de aço e acessórios

- (1) tubo
- (1a) flange exterior
- (2) manga roscada; rosca de baixa fricção
- (3) placa perfurada $a = 2,0$ ou $6,0$ mm de diâmetro
- (4) porca $b = 10$ mm de diâmetro
- (5) superfície chanfrada
- (6) 2 cabeças chatas para chave 41

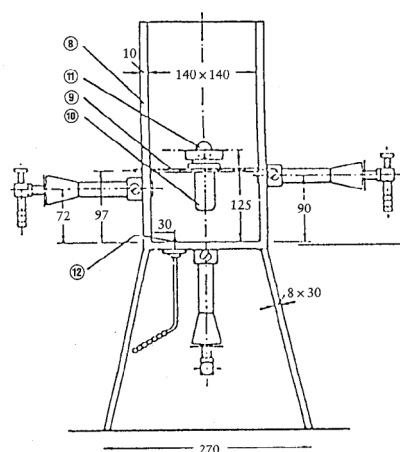


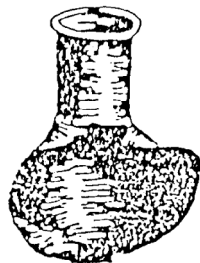
Figura 1b Dispositivo de aquecimento e protecção

- (7) 2 cabeças chatas para chave 36
- (8) caixa à prova de estilhaços
- (9) 2 tirantes de suporte para tubo
- (10) tubo montado
- (11) posição do queimador posterior: os outros queimadores estão visíveis
- (12) jacto orientador

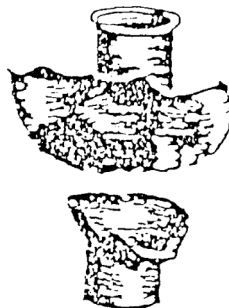
Figura 2

Ensaio de sensibilidade térmica

Exemplos de fragmentação



Sem explosão



Sem explosão



Explosão



Explosão

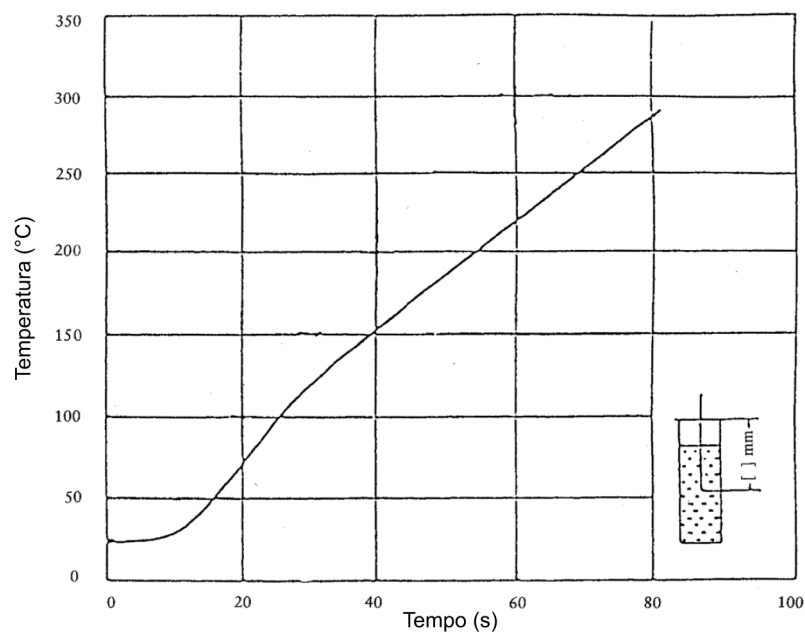


Explosão



Explosão

Figura 3

Calibração da taxa de aquecimento para o ensaio da sensibilidade térmica

Curva de temperatura/tempo obtida ao aquecer-se ftalato de dibutilo (27 cm³) num tubo fechado (placa com orifício de 1,5 mm) utilizando gás propano com o débito de 3,2 litros/minuto. Mede-se a temperatura com um termopar de 1 mm de diâmetro feito de cromo/alumínio revestido com aço inoxidável, colocado centralmente 43 mm sob o aro do tubo. A taxa de aquecimento entre 135 °C e 285 °C deverá estar compreendida entre 185 e 215 K/minuto.

Figura 4

Aparelho para o ensaio de choque

(Todas as dimensões estão em milímetros)

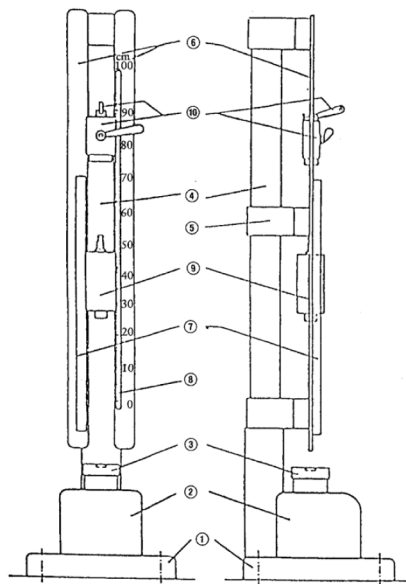


Figura 4a Martelo cadente, alçado e vista geral

- (1) base, 450 x 450 x 60
- (2) bloco de aço, 230 x 250 x 200
- (3) bigorna, 100 de diâmetro x 70
- (4) coluna
- (5) componente transversal médio
- (6) 2 guias
- (7) armário denteado

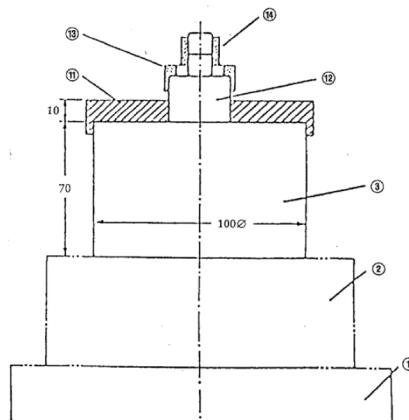


Figura 4b Martelo cadente, parte lateral vista lateral,

- (8) escala graduada
- (9) martelo cadente (massa cadente)
- (10) dispositivo de sustentação e de libertação
- (11) placa de fixação
- (12) bigorna intermédia (permutável), 26 de diâmetro x 26
- (13) anel de fixação com orifícios
- (14) dispositivo de impacte

Figura 4

Continuação

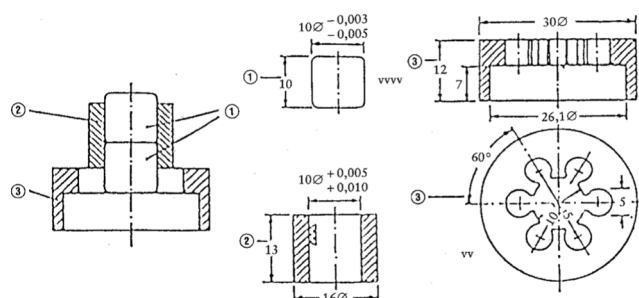


Figura 4c Dispositivo para o ensaio de choque de substâncias pulverizadas ou pastas

Figura 4d Dispositivo para o ensaio de choque de substâncias líquidas

- (1) cilindros de aço
- (2) anel guia para os cilindros de aço
- (3) anel de fixação com orifícios
 - a) secção vertical
 - b) planta
- (4) anel de borracha
- (5) substância líquida (40 mm³)
- (6) espaço livre de líquido

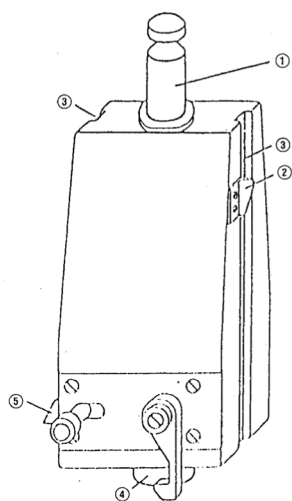
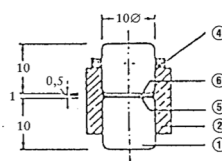


Figura 4e Martelo (massa cadente de 5 kg)

- (1) espigão de suspensão
- (2) marcador de altura
- (3) sulco de fixação
- (4) cabeça de impacte cilíndrica
- (5) lingueta de ricochete

Figura 5

Sensibilidade à fricção: aparelho

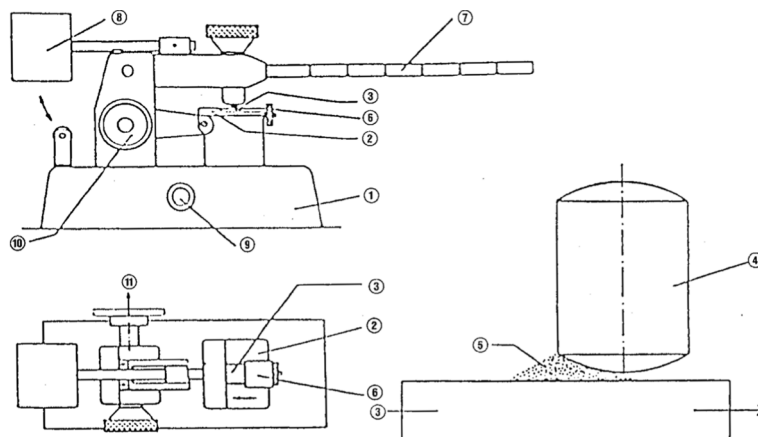


Figura 5a Aparelho de fricção: alçado e planta

Figura 5b Posição de arranque da cavilha na amostra

(1) base de aço	(6) suporte da cavilha
(2) carro móvel	(7) braço de carga
(3) placa de porcelana, 25 x 25 x 5 mm, presa ao carro	(8) contrapeso
(4) cavilha fixa de porcelana, 10 mm de diâmetro x 15 mm	(9) interruptor
(5) amostra de ensaio, aproximadamente 10 mm ³	(10) roda para alinhar o carro na posição de partida
	(11) saída para o motor eléctrico

A.15. **TEMPERATURA DE AUTO-IGNIÇÃO (LÍQUIDOS E GASES)****1. MÉTODO****1.1. INTRODUÇÃO**

As substâncias explosivas e as substâncias que sofrem ignição espontânea em contacto com o ar à temperatura ambiente não devem ser submetidas a este ensaio. O procedimento de ensaio é aplicável a gases, líquidos e vapores, que, na presença de ar, podem ser inflamados por uma superfície quente.

A temperatura de auto-ignição pode ser consideravelmente reduzida pela presença de impurezas catalíticas, pela superfície do material ou pelo facto de o recipiente de ensaio ter um volume superior.

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

O grau de propensão para a auto-ignição exprime-se em termos de temperatura de auto-ignição. A temperatura de auto-ignição é a menor temperatura para a qual a substância de ensaio se inflama quando misturada com ar sob as condições definidas no método de ensaio.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

As substâncias de referência estão enumeradas nas normas (ver 1.6.3.). Devem servir essencialmente para a calibração do método, de vez em quando, e para permitir a comparação com resultados obtidos com outros métodos.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO

O método permite a determinação da temperatura mínima da superfície interior de um recinto fechado à qual ocorre a ignição de um gás, vapor ou líquido injectados nesse recinto fechado.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

A repetitividade varia de acordo com o intervalo de temperaturas de auto-ignição e com o método de ensaio utilizado,

A sensibilidade e a especificidade dependem do método de ensaio utilizado.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO**1.6.1. Aparelho**

O aparelho encontra-se descrito no método referido em 1.6.3.

1.6.2. Condições de ensaio

O ensaio de uma amostra da substância efectua-se de acordo com o método referido em 1.6.3.

1.6.3. Realização do ensaio

Ver IEC 79-4, DIN 51794, ASTM-E 659-78, BS 4056, NF T 20-037.

2. RESULTADOS

Regista-se a temperatura de ensaio, a pressão atmosférica, a quantidade de amostra utilizada e o intervalo de tempo decorrido até à ocorrência da ignição.

3. RELATÓRIO

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

- a especificação exacta da substância (identificação e impurezas),
- a quantidade de amostra utilizada,
- a pressão atmosférica,
- o aparelho utilizado,
- os resultados das medições (temperaturas de ensaio, resultados relativos à ignição, correspondentes intervalos de tempo),
- todas as observações adicionais relevantes para a interpretação dos resultados.

4. REFERÊNCIAS

Nenhuma.

A.16. **TEMPERATURA DE AUTO-IGNIÇÃO RELATIVA PARA OS SÓLIDOS**1. **MÉTODO**1.1. **INTRODUÇÃO**

As substâncias explosivas e as substâncias que se inflamam espontaneamente em contacto com o ar à temperatura ambiente não deverão ser submetidas a este ensaio.

O objectivo deste ensaio consiste em proporcionar informação preliminar sobre a auto-inflamabilidade de substâncias sólidas a temperaturas elevadas.

Se o calor desenvolvido por reacção da substância com oxigénio ou por decomposição exotérmica não for perdido para o meio envolvente com rapidez suficiente, ocorre o fenómeno de auto-aquecimento que conduz à auto-ignição. Em consequência, a auto-ignição ocorre sempre que a razão de produção de calor excede a razão da perda de calor.

O procedimento de ensaio é útil como pesquisa preliminar para as substâncias sólidas. Dada a natureza complexa da ignição e da combustão de sólidos, a temperatura de auto-ignição determinada de acordo com este método apenas deverá ser utilizada para efeitos de comparação.

1.2. **DEFINIÇÕES E UNIDADES**

A temperatura de auto-ignição obtida por este método é a temperatura ambiente mínima expressa em °C à qual se inflamará um determinado volume de substância sob condições definidas.

1.3. **SUBSTÂNCIA DE REFERÊNCIA**

Nenhuma.

1.4. **PRINCÍPIO DO MÉTODO**

Coloca-se num forno, à temperatura ambiente, um determinado volume de substância a ensaiar; traça-se uma curva temperatura/tempo relativa às condições no centro da amostra, aumentando-se a temperatura do forno até 400°C ou até ao ponto de fusão da substância se for menor, à razão de 0,5°C/minuto. Para os objectivos deste ensaio, a temperatura do forno para a qual a temperatura da amostra é de 400°C por auto-aquecimento é designada por temperatura de auto-ignição.

1.5. **CRITÉRIOS DE QUALIDADE**

Nenhum.

1.6. **DESCRIÇÃO DO MÉTODO**1.6.1. **Aparelho**1.6.1.1. *Forno*

Utiliza-se um forno de laboratório de temperatura programada (com o volume aproximado de dois litros) equipado com sistema de circulação de ar natural e com sistema para aliviar os efeitos da explosão. No sentido de se evitar um potencial risco de explosão, não se deverá permitir que quaisquer gases de decomposição estabeleçam contacto com os componentes eléctricos do sistema de aquecimento.

1.6.1.2. *Cubo de rede de arame*

De acordo com o diagrama da figura 1 prepara-se uma peça de rede de arame de aço inoxidável com aberturas de 0,045 mm. A rede deverá ser dobrada e presa com arame no interior de cubos abertos por cima.

1.6.1.3. *Termopares*

Termopares adequados.

1.6.1.4. *Registador*

Utiliza-se qualquer registador de dois canais calibrado de 0 a 600°C ou calibrado para a tensão correspondente.

1.6.2. **Condições de ensaio**

As substâncias são ensaiadas tal qual são recebidas.

1.6.3. **Realização do ensaio**

Enche-se o cubo com a substância de ensaio e bate-se suavemente adicionando-se mais substância até o cubo estar completamente cheio. Depois suspende-se o cubo no centro do forno, à temperatura ambiente. Coloca-se um termopar no centro do cubo e coloca-se outro entre o cubo e a parede do forno para registar a temperatura deste.

As temperaturas do forno e da amostra são registadas continuamente ao mesmo tempo que a temperatura do forno aumenta até 400°C ou até ao ponto de fusão da substância, se for inferior, à razão de 0,5 °C/minuto.

Ao ocorrer a ignição da substância o termopar da amostra indicará uma subida muito rápida da temperatura, superior à temperatura do forno.

2. **RESULTADOS**

A temperatura do forno à qual a temperatura da amostra atinge 400°C por auto-aquecimento é relevante para a avaliação (ver figura 2).

3. **RELATÓRIO**

O relatório do ensaio deverá, se possível, conter a informação seguinte:

- uma descrição da substância a ensaiar,
- os resultados da medição, incluindo a curva temperatura/tempo,
- todas as observações adicionais relevantes para a interpretação dos resultados.

4. **REFERÊNCIAS**

(1) NF T 20-036 (Sept. 85). Chemical products for industrial use. Determination of the relative temperature of the spontaneous flammability of solids.

Figura 1

Planificação do cubo de ensaio com 20 mm de aresta

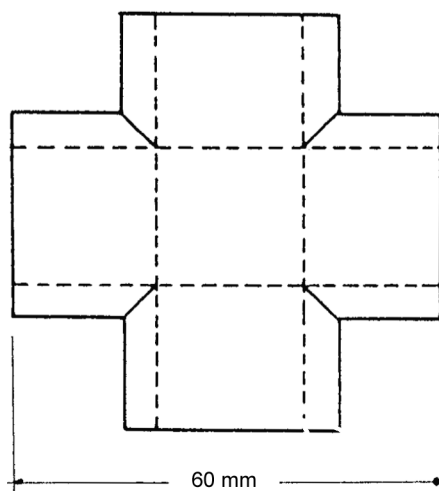
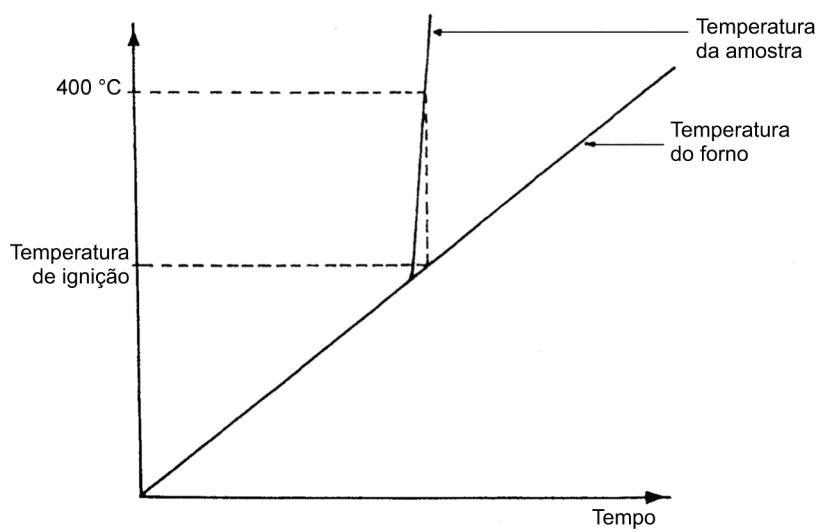


Figura 2

Curva típica de temperatura/tempo



A.17. **PROPRIEDADES OXIDANTES (SÓLIDOS)**1. **MÉTODO**1.1. **INTRODUÇÃO**

É útil possuir informações preliminares sobre quaisquer potenciais propriedades explosivas da substância antes de se efectuar este ensaio.

Este ensaio não é aplicável a líquidos, gases, substâncias explosivas ou altamente inflamáveis ou peróxidos orgânicos.

Não é necessário efectuar este ensaio no caso de o exame da fórmula estrutural determinar, para além de qualquer dúvida razoável, que a substância é incapaz de reagir exotermicamente com um material combustível.

No sentido de se determinar se o ensaio deve ser efectuado com precauções especiais, dever-se-á efectuar um ensaio preliminar.

1.2. **DEFINIÇÕES E UNIDADES**

Tempo de combustão: é o tempo de reacção, em segundos, necessário para a zona de reacção se deslocar ao longo de uma pilha utilizando o procedimento descrito em 1.6.

Velocidade de combustão: expressa em milímetros por segundo.

Velocidade máxima de combustão: é o valor máximo das velocidades de combustão obtidas com misturas contendo entre 10 % e 90 % em peso do oxidante.

1.3. **SUBSTÂNCIA DE REFERÊNCIA**

Utiliza-se o nitrato de bário (qualidade analítica) como substância de referência para o ensaio e para o ensaio preliminar.

A mistura de referência é uma mistura de nitrato de bário com pó de celulose preparada de acordo com 1.6., que possui a velocidade máxima de combustão (normalmente é uma mistura contendo nitrato de bário na proporção de 60 % em peso).

1.4. **PRINCÍPIO DO MÉTODO**

Por razões de segurança, efectua-se um ensaio preliminar. Não é necessário mais nenhum ensaio no caso de se verificar claramente no ensaio preliminar que a substância de ensaio possui propriedades oxidantes. Se não for esse o caso, a substância deverá ser então submetida ao ensaio completo.

No ensaio completo mistura-se, segundo proporções variáveis, a substância que se pretende ensaiar e uma substância combustível previamente definida. Depois forma-se uma pilha com cada mistura e procede-se à ignição dessa pilha numa das suas extremidades. A velocidade máxima de combustão determinada é então comparada com a velocidade máxima de combustão da mistura de referência.

1.5. **CRITÉRIOS DE QUALIDADE**

Se necessário, é válido qualquer método de trituração e de mistura desde que a diferença entre as velocidades máximas de combustão em seis ensaios separados não se afastem do valor correspondente à média aritmética em mais do que 10 %.

1.6. **DESCRIÇÃO DO MÉTODO**1.6.1. **Preparação**1.6.1.1. *Substância de ensaio*

Reduz-se a amostra de ensaio a partículas com dimensões < 0,125 mm utilizando o procedimento seguinte: peneira-se a substância de ensaio, tritura-se a parte restante e repete-se o procedimento até toda a substância de ensaio passar pelo peneiro.

Pode-se utilizar qualquer método de trituração e de crivagem que satisfaçam os critérios qualitativos.

Antes da preparação da mistura seca-se a substância à temperatura de 105 °C, até se obter um peso constante. No caso de a temperatura de decomposição da substância de ensaio ser inferior a 105 °C, torna-se necessário secar a substância a uma temperatura inferior adequada.

1.6.1.2. *Substância combustível*

Utiliza-se pó de celulose como substância combustível. A celulose deverá ser do tipo utilizado para a cromatografia de camada fina ou para a cromatografia em coluna. Verificou-se que é adequada a celulose em que 85 % das fibras possui um comprimento compreendido entre 0,020 e 0,075 mm. Faz-se passar o pó de celulose através de um peneiro de malha de 0,125 mm. Em todo o ensaio deve-se utilizar o mesmo lote de celulose.

Antes de se preparar a mistura efectua-se a secagem do pó de celulose à temperatura de 105 °C até se obter um peso constante.

No caso de se utilizar serradura no ensaio preliminar faz-se a preparação dessa serradura de madeira macia recolhendo a porção que passa através de um peneiro de malha de 1,6 mm, mistura-se muito bem e depois seca-se à temperatura de 105°C durante 4 horas numa camada com espessura inferior a 25 mm. Arrefece-se e armazena-se num recipiente estanque ao ar, tão cheio quanto for possível, de preferência ao fim de 24 horas de secagem.

1.6.1.3. *Fonte de ignição*

Como fonte de ignição deve utilizar-se uma chama de um queimador de gás (com diâmetro mínimo de 5mm). No caso de se utilizar outra fonte de ignição (por exemplo, quando se efectua o ensaio em atmosfera inerte), deverá constar do relatório uma descrição e a justificação.

1.6.2. **Realização do ensaio**

Nota:

As misturas de oxidantes com celulose ou com serradura devem ser tratadas como potencialmente explosivas e manuseadas com as devidas precauções.

1.6.2.1. *Ensaio preliminar*

Mistura-se muito bem a substância seca com a celulose ou com a serradura seca na proporção em peso de duas partes da substância de ensaio para uma parte de celulose ou de serradura e com essa mistura prepara-se uma pequena pilha com a configuração de um cone com as dimensões de 3,5 cm (diâmetro da base) × 2,5 cm (altura) enchendo, sem bater, uma forma com a configuração do cone (por exemplo, um funil de vidro de laboratório com o bico tapado).

Coloca-se essa pilha sobre uma placa fria, não combustível, não porosa e de fraca condutividade térmica. O ensaio deve ser efectuado num aparador com exaustão de fumos tal como em 1.6.2.2.

Coloca-se a fonte de ignição em contacto com o cone. Observa-se e regista-se o vigor e a duração da reacção resultante.

Considera-se que a substância é um oxidante se a reacção for vigorosa.

Em qualquer caso em que o resultado suscite dúvidas é necessário completar depois a sequência de ensaio adiante descrita.

1.6.2.2. *Sequência de ensaio*

Procede-se à preparação de misturas oxidante/celulose contendo oxidante em proporções compreendidas entre 10 % e 90 % em peso, por acréscimos sucessivos de 10 %. Nos casos limite, deve utilizar-se misturas intermédias de oxidante/celulose para se obter com maior precisão a velocidade máxima de combustão.

A configuração da pilha é conseguida por meio de um molde. Esse molde é feito de metal, tem um comprimento de 250 mm e uma secção recta transversal com uma altura interior de 10 mm e com uma largura interior de 20 mm. De ambos os lados do molde, segundo a direcção longitudinal, faz-se a montagem de duas placas metálicas que constituem limitações laterais que ultrapassam 2 mm a aresta superior da secção recta triangular (ver figura). Enche-se livremente este dispositivo com um ligeiro excesso de mistura. Depois de se deixar cair o molde uma vez, de uma altura de 2 cm sobre uma superfície sólida, remove-se a substância em

excesso remanescente com uma folha colocada em posição oblíqua, procede-se à remoção das limitações laterais e alisa-se o pó restante utilizando um cilindro. Depois coloca-se sobre o molde uma placa não combustível, não porosa e de fraca condutibilidade térmica, inverte-se o aparelho e remove-se o molde.

Coloca-se a placa sob o exaustor de um aparador com exaustão de fumos.

A velocidade do ar deverá ser suficiente para evitar que os fumos escapem para o interior do laboratório e não deverá variar durante o ensaio. Em torno do aparelho deverá instalar-se uma blindagem auxiliar da exaustão.

Devido às propriedades higroscópicas da celulose e de algumas substâncias que se pretendem ensaiar o teste deverá ser efectuado tão rapidamente quanto possível.

Inflama-se uma extremidade da pilha por contacto com a chama.

Mede-se o tempo de reacção para uma distância de 200 mm após a zona de reacção se ter propagado, segundo uma distância inicial de 30 mm.

Efectua-se o ensaio com a substância de referência e pelo menos com cada uma das misturas de substância de ensaio com celulose, no intervalo definido.

No caso de se verificar que a velocidade máxima de combustão é significativamente superior à da mistura de referência, pode-se interromper o ensaio; caso contrário, deve-se repetir o ensaio cinco vezes para cada uma das três misturas que proporcionam a velocidade de combustão mais rápida.

No caso de se suspeitar que o resultado é falsamente positivo, deve-se repetir o ensaio utilizando uma substância inerte com partículas de dimensões idênticas, tal como a diatomite, em vez de celulose. Em alternativa deve-se ensaiar novamente a mistura de substância de ensaio/celulose que possui a velocidade de combustão mais rápida em atmosfera inerte (teor em oxigénio < 2 % v/v).

2. RESULTADOS

Por razões de segurança deve-se considerar a velocidade máxima de combustão — em vez do valor médio — como sendo a propriedade oxidante característica da substância de ensaio.

Para a avaliação é relevante o valor máximo da velocidade de combustão obtido numa série de seis ensaios para uma determinada mistura.

Traça-se um gráfico do valor máximo da velocidade de combustão para cada mistura em função da concentração do oxidante. A partir de gráfico conclui-se sobre a velocidade máxima de combustão.

Os seis valores de velocidade de combustão medidos numa experiência efectuada com a mistura de máxima velocidade de combustão não devem diferir do valor da média aritmética em mais do que 10 %; caso contrário, devem aperfeiçoar-se os métodos de trituração e de mistura.

A velocidade máxima de combustão obtida é comparada com a velocidade máxima de combustão da mistura de referência (ver 1.3.).

Se os ensaios forem efectuados em atmosfera inerte, compara-se a velocidade máxima de reacção com a que se obtém com a mistura de referência em atmosfera inerte.

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

- identidade, composição, pureza, teor em humidade, etc., da substância ensaiada,
- qualquer tratamento da substância de ensaio (por exemplo, trituração, secagem, etc.),

- a fonte de ignição utilizada nos ensaios,
- os resultados das medições,
- o modo de reacção (por exemplo, combustão com chama à superfície, combustão através de toda a massa, qualquer informação relativa aos produtos de combustão, etc.),
- todas as observações adicionais relevantes para a interpretação dos resultados, incluindo uma descrição do vigor (chamas, faíscas, fumos, combustão lenta, etc.) e duração aproximada observados no ensaio preliminar sobre segurança/pesquisa, tanto para a substância de ensaio como para a substância de referência,
- os resultados dos ensaios com uma substância inerte, se existirem,
- os resultados dos ensaios em atmosfera inerte, se existirem.

3.2. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Considera-se que uma substância é um oxidante nos casos em que:

- a) No ensaio preliminar se observa uma reacção vigorosa;
- b) No ensaio completo, a velocidade máxima de combustão das misturas ensaiadas é superior ou igual à velocidade máxima de combustão da mistura de referência constituída por celulose e nitrato de bário.

No sentido de se evitar um resultado positivo falso, os resultados obtidos ao fazer-se o ensaio da substância misturada com um material inerte e/ou ao fazer-se o ensaio sob atmosfera inerte deverão ser considerados também ao fazer-se a interpretação dos resultados.

4. REFERÊNCIAS

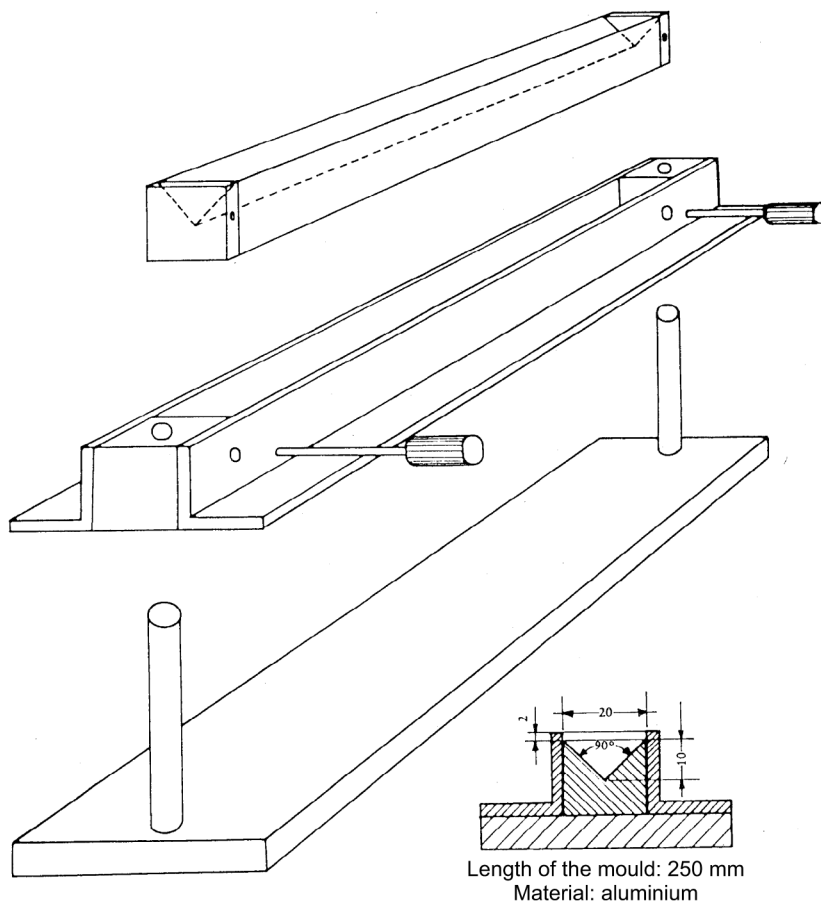
(1) NF T 20-035 (Sept. 85). Chemical products for industrial use. Determination of the oxidizing properties of solids.

Apêndice

Figura

Molde e acessórios para a preparação da pilha

(Todas as dimensões estão em milímetros)



A.18. MASSA MOLECULAR MÉDIA EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE MOLES E DISTRIBUIÇÃO DA MASSA MOLECULAR EM POLÍMEROS

1. MÉTODO

O presente método, que utiliza a cromatografia de permeação em gel (GPC), é idêntico ao método OCDE TG 118 (1996). Os respectivos fundamentos e outras informações técnicas são apresentados na referência (1).

1.1. INTRODUÇÃO

Tendo em conta a diversidade das propriedades dos biopolímeros, torna-se impossível descrever um único método que estabeleça de modo preciso as condições de separação e avaliação dos mesmos, abrangendo todas as possibilidades e especificidades. Muitos sistemas poliméricos complexos, nomeadamente, não são analisáveis por cromatografia de permeação em gel. Nos casos em que o recurso a esta técnica não se afigure viável, a massa molecular pode ser determinada através de outros métodos (ver apêndice), devendo documentar-se e justificar-se a opção utilizada.

O método descrito baseia-se na norma DIN 55672 (1); esta última contém informações pormenorizadas sobre o modo de execução do ensaio e a avaliação dos respectivos resultados. Caso seja necessário alterar determinadas condições do processo experimental, deve apresentar-se a devida justificação. Podem utilizar-se outras normas, na condição de apresentar as respectivas referências. O método descrito utiliza, para fins de calibração, amostras de poliestireno de polidispersibilidade conhecida, podendo ser necessário efectuar alterações de modo a torná-lo adequado a determinados polímeros, nomeadamente polímeros hidrossolúveis e polímeros reticulados de cadeia longa.

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

A massa molecular média em função do número de moles, M_n , e a massa molecular média relativa à massa das espécies, M_w , são determinadas por recurso às equações:

$$M_n = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{\sum_{i=1}^n H_i/M_i} \qquad M_w = \frac{\sum_{i=1}^n H_i \times M_i}{\sum_{i=1}^n H_i}$$

em que:

H_i é a intensidade do sinal do detector correspondente ao volume de retenção V_i , contado a partir da linha de base,

M_i é a massa molecular da fracção do polímero correspondente ao volume de retenção V_i e

n é o número de pontos obtidos experimentalmente.

A amplitude da distribuição de massas moleculares, que constitui uma medida da dispersibilidade do sistema, é dada pelo quociente M_w/M_n

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Uma vez que a cromatografia de permeação em gel constitui um método relativo, deve efectuar-se uma calibração. Para tal, podem utilizar-se padrões de poliestireno de cadeia linear, com uma distribuição limitada, e massas moleculares médias (M_n e M_w) e distribuição de massas moleculares conhecidas. A curva de calibração apenas pode ser utilizada na determinação da massa molecular da amostra desconhecida caso as condições de separação da referida amostra e dos padrões tenham sido seleccionadas de modo idêntico.

Uma determinada relação entre a massa molecular e o volume de eluição apenas é válida nas condições específicas de cada ensaio. Estas últimas incluem, nomeadamente, a temperatura, o tipo de solvente (ou mistura de solventes), as condições cromatográficas e a coluna ou sistema de colunas de separação.

As massas moleculares da amostra determinadas pelo método em causa constituem valores relativos, sendo designadas «massas moleculares em equivalentes de poliestireno». Tal facto significa que as massas moleculares podem apresentar desvios relativamente aos valores absolutos em função das diferenças estruturais e químicas entre a amostra e os padrões. Caso se utilizem outros padrões, nomeadamente polietilenoglicol, óxido de polietileno, metacrilato de polimetilo ou ácido poliacrílico, devem justificar-se os motivos.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

A determinação da distribuição das massas moleculares, bem como das massas moleculares médias da amostra (M_n , M_w), pode fazer-se por recurso à cromatografia de permeação em gel, que consiste numa variante da cromatografia líquida em que a amostra é separada em função dos volumes hidrodinâmicos dos diversos componentes (2).

A separação é efectuada por passagem através de uma coluna cujo enchimento consiste num material poroso, de modo geral um gel orgânico. As moléculas de dimensões mais reduzidas passam através dos poros, sendo as restantes excluídas. A fixação das moléculas de maiores dimensões é, pois, menor, sendo eluídas em primeiro lugar. As moléculas de dimensões médias passam através de alguns poros, sendo eluídas numa fase posterior. Finalmente, as moléculas de dimensões mais reduzidas, que possuem um raio hidrodinâmico inferior ao dos poros do gel, penetram estes últimos, sendo eluídas em último lugar.

Em condições ideais, a separação é determinada apenas pelas dimensões das moléculas, embora, na prática, seja difícil evitar algumas interferências devidas à adsorção. A não uniformidade do enchimento e a existência de volumes mortos poderão induzir problemas complementares (2).

A detecção pode ser efectuada com base no índice de refração ou por absorção no ultravioleta, originando uma curva de distribuição simples. Todavia, de modo a atribuir valores de massa molecular aos vários pontos da curva, é necessário efectuar uma calibração por recurso a polímeros de massa molecular conhecida e, se possível, de estrutura similar, nomeadamente padrões de poliestireno. A curva resultante da representação gráfica da quantidade, em massa, das diversas espécies eluídas em função do logaritmo da massa molecular deve exibir uma distribuição de Gauss, por vezes distorcida por uma ligeira assimetria na região das massas moleculares mais reduzidas.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

A repetibilidade (desvio-padrão relativo) do volume de eluição deve ser superior a 0,3 %. Se um cromatograma elaborado em função do tempo não corresponder aos critérios *supra*, deve assegurar-se a necessária repetibilidade da análise mediante correcção por recurso a um padrão interno (1). As polidispersões dependem da massa molecular de cada padrão. No caso da utilização de padrões de poliestireno, os valores característicos são os seguintes:

$M_p < 2\,000$	$M_w/M_n < 1,20$
$2\,000 \leq M_p \leq 10^6$	$M_w/M_n < 1,05$
$M_p > 10^6$	$M_w/M_n < 1,20$

em que M_p representa a massa molecular do padrão correspondente ao máximo do pico.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.6.1. Preparação das soluções-padrão de poliestireno

Os padrões de poliestireno são dissolvidos, com agitação, no eluente escolhido. Na preparação das soluções devem ter-se em conta as recomendações do fabricante.

As concentrações dos padrões dependem de vários factores, nomeadamente o volume de injeção, a viscosidade da solução e a sensibilidade do detector. Deve adaptar-se o volume de injeção máximo ao comprimento da coluna, de modo a evitar uma sobrecarga. Os volumes de injeção característicos de separações analíticas por cromatografia de permeação em gel com uma coluna de 30 cm × 7,8 mm situam-se, de modo geral, entre 40 e 100 µl. É possível injectar volumes superiores, que não devem, contudo, exceder 250 µl. Antes de calibrar a coluna, deve determinar-se o rácio adequado volume de injeção/concentração.

1.6.2. Preparação da solução de amostra

De modo geral, as condições atrás referidas são também aplicáveis à preparação das soluções de amostra. Esta última é dissolvida num solvente adequado, nomeadamente tetra-hidrofurano (THF), sob agitação cuidadosa. Em caso algum deverá utilizar-se um banho de ultra-sons. Se necessário, a solução de amostra pode ser purificada por passagem através de um filtro de membrana, cujos poros deverão ter dimensões compreendidas entre 0,2 e 2 µm.

Deve referir-se no relatório final a eventual presença de partículas não dissolvidas, que poderão conter espécies de massa molecular superior. Deve utilizar-se um método adequado para determinar a percentagem ponderal das partículas em causa. As soluções devem ser utilizadas nas 24 horas subseqüentes à sua preparação.

1.6.3. Equipamento

- Reservatório de solvente,
- desgaseificador (se adequado),
- bomba,
- amortecedor de pulsações (se adequado),
- sistema de injeção,
- colunas cromatográficas,
- detector,
- medidor de caudal (se adequado),
- sistema de registo e processamento de dados,
- recipiente para resíduos.

Deve assegurar-se o carácter inerte do sistema cromatográfico em relação aos solventes utilizados (nomeadamente no caso da utilização de capilares de aço com THF).

1.6.4. Sistema de injeção e de aporte de solvente

Introduz-se na coluna um determinado volume de solução de amostra, manualmente ou por intermédio de um amostrador automático, numa zona bem definida. No caso da introdução manual, a compressão do êmbolo ou a retirada da seringa demasiado rápidas poderão determinar alterações na distribuição de massas moleculares obtida. O sistema de aporte de solvente deve ser uniforme, recorrendo, se possível, a um amortecedor de pulsações. O caudal deve ser da ordem de 1 ml/min.

1.6.5. Coluna

Em função do tipo de amostra, os polímeros são analisados por recurso a uma única coluna ou a diversas colunas ligadas em série. Encontram-se disponíveis nos circuitos comerciais colunas de materiais porosos com propriedades (por exemplo, dimensões dos poros, limites de exclusão) bem definidas. A selecção do gel a utilizar, bem como do comprimento da coluna, depende das propriedades da amostra (volumes hidrodinâmicos, distribuição das massas moleculares) e das condições específicas de separação, nomeadamente o tipo de solvente utilizado, a temperatura e o caudal (1) (2) (3).

1.6.6. Pratos teóricos

Deve caracterizar-se a coluna ou sistema de colunas a utilizar na separação pelo respectivo número de pratos teóricos. No caso da utilização de THF como solvente de eluição, introduzir uma solução de etilbenzeno ou outro soluto apolar adequado numa coluna de comprimento conhecido. O número de pratos teóricos é dado pela equação:

$$N = 5,54 \left(\frac{V_e}{W_{1/2}} \right)^2 \quad \text{ou} \quad N = 16 \left(\frac{V_e}{W} \right)^2$$

em que:

N = representa o número de pratos teóricos,

V_e = representa o volume de eluição correspondente ao máximo do pico,

W = representa a largura da base do pico,

W_{1/2} = representa a largura do pico a meia altura.

1.6.7. Eficiência de separação

Além do número de pratos teóricos, que determina a largura das bandas, a eficiência de separação, obtida a partir do declive da curva de calibração, desempenha também um papel importante. A eficiência de separação de uma coluna é dada por:

$$\frac{V_{e,M_x} - V_{e,(10M_x)}}{\text{secção transversal da coluna}} \geq 6,0 \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^2} \right]$$

em que:

V_{e,M_x} = representa o volume de eluição de uma fracção de poliestireno com massa molecular M_x e
 $V_{e,(10M_x)}$ = representa o volume de eluição de uma fracção de poliestireno com massa molecular dez vezes superior.

A resolução do sistema é geralmente definida do seguinte modo:

$$R_{1,2} = 2 \times \frac{V_{e1} - V_{e2}}{W_1 + W_2} \times \frac{1}{\log_{10}(M_2/M_1)}$$

em que:

V_{e1}, V_{e2} = representam os volumes de eluição dos dois padrões de poliestireno, correspondentes ao máximo dos picos,
 W_1, W_2 = representam a largura da base dos picos, e
 M_1, M_2 = representam as massas moleculares correspondentes aos máximos dos picos, devendo diferir num factor de 10.

O valor R do sistema de colunas deve ser superior a 1,7 (4).

1.6.8. Solventes

Todos os solventes devem possuir um elevado grau de pureza (no caso do THF, o grau de pureza deve ser de 99,5 %). As dimensões do reservatório de solvente (que pode, se necessário, encontrar-se sob atmosfera inerte) devem ser suficientes para permitir a calibração da coluna e a realização de diversas análises. O solvente deve ser desgasificado antes da sua introdução na coluna por intermédio da bomba.

1.6.9. Controlo da temperatura

A temperatura dos componentes críticos internos (septo de injeção, colunas, detector, tubagens) deve ser constante e adequada ao solvente escolhido.

1.6.10. Detector

A função do detector consiste no registo quantitativo da concentração da amostra eluída da coluna. De modo a evitar o alargamento dos picos, o volume da célula de detecção deve ser tão reduzido quanto possível, não devendo exceder 10 µl, excepto no caso dos detectores de difusão de radiações e de viscosidade. O método de detecção mais corrente consiste na refractometria diferencial. Todavia, se as propriedades específicas da amostra ou do solvente de eluição o justificarem, podem utilizar-se outros tipos de detectores, nomeadamente de radiação ultravioleta/visível, infravermelha e detectores de viscosidade.

2. RESULTADOS E SUA APRESENTAÇÃO

2.1. RESULTADOS

Para pormenores sobre os critérios de avaliação, bem como no que respeita às exigências em matéria de recolha e processamento de dados, deve consultar-se a norma DIN relevante (1).

Devem efectuar-se duas análises independentes e individuais de cada amostra.

Em cada análise, devem determinar-se os parâmetros M_n , M_w , M_w/M_n e M_p . Deve indicar-se explicitamente que os valores determinados constituem valores relativos equivalentes à massa molecular do padrão utilizado.

Após a determinação dos volumes de retenção ou tempos de retenção (eventualmente corrigidos por recurso a um padrão interno), representa-se graficamente o logaritmo de M_p (valor correspondente ao máximo do pico relativo ao padrão de calibração) em função de um dos parâmetros referidos. São necessários pelo menos dois pontos de calibração por década de massas moleculares e pelo menos cinco pontos para a curva total, que deve abranger a massa molecular estimada da amostra. A extremidade da curva de calibração correspondente às massas moleculares mais reduzidas é definida pelo n-hexilbenzeno ou outro solvente apolar adequado. As massas moleculares relativas ao número de moles e à massa das espécies são, em geral, obtidas por processamento electrónico dos dados, com base nas fórmulas que se apresentam no ponto 1.2. Caso se recorra ao tratamento manual dos mesmos, pode consultar-se a norma ASTM D 3536-91 (3).

Deve apresentar-se a distribuição na forma de quadro ou de gráfico (percentagem da soma ou do diferencial da frequência em função de $\log M$). Na representação gráfica, uma década de massas moleculares deve corresponder a cerca de 4 cm, devendo a altura máxima dos picos ser de cerca de 8 cm. No caso de curvas de distribuição integral, a diferença entre 0 e 100 % deve corresponder a cerca de 10 cm.

2.2. RELATÓRIO

O relatório do ensaio deve incluir as seguintes informações:

2.2.1. Substância em estudo

- Dados disponíveis sobre a substância em estudo (identidade, aditivos, impurezas),
- descrição do tratamento da amostra, observações, problemas surgidos.

2.2.2. Equipamento

- Reservatório de eluente, gás inerte, desgaseificação do eluente, composição do eluente, impurezas,
- bomba, amortecedor de pulsações, sistema de injeção,
- colunas de separação (fabricante, todas as informações disponíveis sobre as características das colunas, nomeadamente dimensões dos poros, tipo de material utilizado, número, comprimento e ordem de utilização das colunas),
- número de pratos teóricos da coluna ou sistema de colunas; eficiência de separação (resolução do sistema),
- informações relativas à simetria dos picos,
- temperatura da coluna, tipo de controlo da temperatura utilizado,
- detector (princípio utilizado, tipo, volume da célula),
- medidor de caudal, se utilizado (fabricante, princípio utilizado),
- sistema de registo e processamento dos dados (equipamento e suporte lógico).

2.2.3. Calibração do sistema

- Descrição pormenorizada do método utilizado para obter a curva de calibração,
- informações relativas aos critérios de qualidade aplicáveis ao método (por exemplo, coeficiente de correlação, erro quadrático médio, etc.),

- informações relativas às extrapolações, hipóteses e aproximações efectuadas no decurso do processo experimental, bem como da avaliação e processamento dos dados,
- devem apresentar-se na forma de quadro os dados utilizados para a obtenção da curva de calibração, incluindo, para cada ponto de calibração, as seguintes informações:
 - nome da amostra,
 - fabricante da amostra,
 - valores de M_p , M_n , M_w , M_w/M_n característicos dos padrões, fornecidos pelo fabricante ou obtidos em determinações posteriores, bem como pormenores sobre o método de determinação utilizado,
 - volume de injeção e concentração da substância injectada,
 - valor de M_p utilizado para a calibração,
 - volume de eluição ou tempo de retenção corrigido correspondentes ao máximo dos picos,
 - valores de M_p correspondentes ao máximo dos picos,
 - percentagem de erro dos valores de M_p calculados e do valor de calibração.

2.2.4. Avaliação

- Avaliação com base no tempo: métodos utilizados para assegurar a reprodutibilidade requerida (método de correcção, padrão interno, etc.),
- informações que indiquem se a avaliação foi efectuada com base no volume de eluição ou no tempo de retenção,
- informações sobre os limites de avaliação, caso um pico não seja totalmente analisado,
- descrição dos eventuais métodos de nivelamento de dados utilizados,
- processos de preparação e tratamento prévio da amostra,
- eventual presença de partículas não dissolvidas,
- volume de injeção (expresso em μl) e concentração de injeção (expressa em mg/ml),
- observações que indiquem efeitos susceptíveis de induzir desvios relativamente às condições cromatográficas ideais,
- descrição pormenorizada das alterações aos procedimentos de ensaio,
- pormenores relativos às margens de erro,
- quaisquer outras informações e observações que possuam importância para a interpretação dos resultados.

3. REFERÊNCIAS

- (1) DIN 55672 (1995). Gelpermeationschromatographie (GPC) mit Tetrahydrofuran (THF) als Elutionsmittel, Teil 1.

-
- (2) Yau, W.W., Kirkland, J.J., and Bly, D.D. eds, (1979). Modern Size Exclusion Liquid Chromatography, J. Wiley and Sons.
 - (3) ASTM D 3536-91 (1991). Standard Test Method for Molecular Weight Averages and Molecular Weight Distribution by Liquid Exclusion Chromatography (Gel Permeation Chromatography-GPC). American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania.
 - (4) ASTM D 5296-92 (1992). Standard Test Method for Molecular Weight Averages and Molecular Weight Distribution of Polystyrene by High Performance Size-Exclusion Chromatography. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania.

*Apêndice***Exemplos de outros métodos de determinação da massa molecular média em função do número de moles (M_n) em polímeros**

A cromatografia de permeação em gel constitui o método mais indicado para a determinação de M_n , em especial sempre que se encontre disponível uma série de padrões com estrutura idêntica à do polímero a analisar. Todavia, nos casos em que o recurso àquela técnica apresente dificuldades práticas ou em que se preveja que a substância em causa não satisfaz um critério regulamentar em matéria de M_n , sendo necessário confirmar tal facto podem aplicar-se métodos alternativos, nomeadamente:

1. Utilização das propriedades coligativas**1.1. *Ebulioscopia/crioscopia:***

estas técnicas baseiam-se, respectivamente, na determinação do aumento do ponto de ebulição e do abaixamento do ponto de congelação de um solvente induzidos pela adição do polímero. O princípio do método consiste no facto de os efeitos do polímero dissolvido no ponto de ebulição ou de congelação do solvente dependerem da massa molecular do polímero (1) (2).

Aplicabilidade: $M_n < 20\,000$

1.2. *Abaixamento da pressão de vapor:*

esta técnica baseia-se na medição da pressão de vapor de um líquido de referência antes e após a adição de determinadas quantidades do polímero (1) (2).

Aplicabilidade: $M_n < 20\,000$ (em teoria; na prática, o valor é limitado).

1.3. Osmometria de membrana:

esta técnica baseia-se no princípio da osmose, isto é, da tendência natural das moléculas de solvente de passarem, através de uma membrana semipermeável, de uma solução diluída para uma solução concentrada, até atingir o equilíbrio. No ensaio em causa, a concentração da solução diluída é nula, enquanto que a solução concentrada contém o polímero. A passagem do solvente através da membrana determina uma diferença de pressão dependente da concentração e da massa molecular do polímero (1) (3) (4).

Aplicabilidade: valores de M_n compreendidos entre 20 000 e 200 000.

1.4. *Osmometria de fase de vapor:*

esta técnica baseia-se na comparação da velocidade de evaporação de um aerossol de solvente puro com a velocidade de evaporação de, no mínimo, três aerossóis que contêm o polímero em concentrações diversas (1) (5) (6).

Aplicabilidade: $M_n < 20\,000$

2. Análise dos grupos terminais

A utilização deste método implica o conhecimento simultâneo da estrutura global do polímero e da natureza dos grupos terminais, distinguíveis da cadeia principal por recurso a técnicas tais como a ressonância magnética nuclear, a titulação ou a formação de derivados. Com base na determinação da concentração molecular dos grupos terminais presentes no polímero, pode obter-se a respectiva massa molecular (7) (8) (9).

Aplicabilidade: M_n não superior a 50 000 (com fiabilidade decrescente).

3. Referências

(1) Billmeyer, F.W. Jr., (1984). Textbook of Polymer Science, 3rd ed., John Wiley, New York.

-
- (2) Glover, CA., (1975), Absolute Colligative Property Methods. Chapter 4 In: Polymer Molecular Weights, Part I, P.E., Slade, Jr. ed., Marcel Dekker, New York.
 - (3) ASTM D 3750-79, (1979). Standard Practice for Determination of Number-Average Molecular Weight of Polymers by Membrane Osmometry. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania.
 - (4) Coll, H. (1989), Membrane Osmometry. In: Determination of Molecular Weight, A.R. Cooper e., J. Wiley and Sons, p. 25-52.
 - (5) ASTM 3592-77, (1977). Standard Recommended Practice for Determination of Molecular Weight by Vapour Pressure, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania.
 - (6) Morris, C.E.M., (1989). Vapour Pressure Osmometry. In: Determination of Molecular Weight, A.R. Cooper ed., John Wiley and Sons.
 - (7) Schröder, E. Muller, G., and Arndt, K-F, (1989). Polymer Characterisation, Carl Hanser Verlag, Munich.
 - (8) Garmon, R.G., (1975). End-Group Determinations, Chapter 3. In: Polymer Molecular Weights, Part I, P.E. Slade, Jr. ed. Marcel Dekker, New York.
 - (9) Amiya, S., *et al.* (1990). Pure and Applied Chemistry, 62, 2139-2146.

A.19. TEOR EM POLÍMEROS DE BAIXA MASSA MOLECULAR

1. MÉTODO

O presente método, que utiliza a cromatografia de permeação em gel, é idêntico ao método OCDE TG 119 (1996). Os respectivos fundamentos e outras informações técnicas são apresentados nas referências.

1.1. INTRODUÇÃO

Tendo em conta a diversidade das propriedades dos biopolímeros, torna-se impossível descrever um único método que estabeleça de modo preciso as condições de separação e avaliação dos mesmos, abrangendo todas as possibilidades e especificidades. Muitos sistemas poliméricos complexos, nomeadamente, não são analisáveis por cromatografia de permeação em gel (GPC). Nos casos em que o recurso a esta técnica não se afigure viável, a massa molecular pode ser determinada através de outros métodos (ver apêndice), devendo documentar-se e justificar-se a opção utilizada.

O método descrito baseia-se na norma DIN 55672 (1); esta última contém informações pormenorizadas sobre o modo de execução do ensaio e a avaliação dos respectivos resultados. Caso seja necessário alterar determinadas condições do processo experimental, deve apresentar-se a devida justificação. Podem utilizar-se outras normas, na condição de apresentar as respectivas referências. O método descrito utiliza, para fins de calibração, amostras de poliestireno de polidispersibilidade conhecida, podendo ser necessário efectuar alterações de modo a torná-lo adequado a determinados polímeros, nomeadamente polímeros hidrossolúveis e polímeros reticulados de cadeia longa.

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

Por convenção, considera-se baixa uma massa molecular inferior a 1 000 dalton.

A massa molecular média em função do número de moles, M_n , e a massa molecular média relativa à massa das espécies, M_w , são determinadas por recurso às equações:

$$M_n = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{\sum_{i=1}^n H_i / M_i} \qquad M_w = \frac{\sum_{i=1}^n H_i \times M_i}{\sum_{i=1}^n H_i}$$

em que:

H_i = é a intensidade do sinal do detector correspondente ao volume de retenção V_i , contado a partir da linha de base,

M_i = é a massa molecular da fracção do polímero correspondente ao volume de retenção V_i , e n é o número de pontos obtidos experimentalmente.

A amplitude da distribuição de massas moleculares, que constitui uma medida da dispersibilidade do sistema, é dada pelo quociente M_w/M_n .

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Uma vez que a cromatografia de permeação em gel constitui um método relativo deve efectuar-se uma calibração. Para tal, podem utilizar-se padrões de poliestireno de cadeia linear, com uma distribuição limitada, e massas moleculares médias (M_n e M_w) e distribuição de massas moleculares conhecidas. A curva de calibração apenas pode ser utilizada na determinação da massa molecular da amostra desconhecida caso as condições de separação da referida amostra e dos padrões tenham sido seleccionadas de modo idêntico.

Uma determinada relação entre a massa molecular e o volume de eluição apenas é válida nas condições específicas de cada ensaio. Estas últimas incluem, nomeadamente, a temperatura, o tipo de solvente (ou mistura de solventes), as condições cromatográficas e a coluna ou sistema de colunas de separação.

As massas moleculares da amostra determinadas pelo método em causa constituem valores relativos, sendo designadas «massas moleculares em equivalentes de poliestireno». Tal facto significa que as massas moleculares podem apresentar desvios relativamente aos valores absolutos em função das diferenças estruturais e químicas entre a amostra e os padrões. Caso se utilizem outros padrões, nomeadamente polietilenoglicol, óxido de polietileno, metacrilato de polimetilo ou ácido poliacrílico, devem justificar-se os motivos.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

A determinação da distribuição das massas moleculares, bem como das massas moleculares médias da amostra (M_n , M_w), pode fazer-se por recurso à cromatografia de permeação em gel, que consiste numa variante da cromatografia líquida em que a amostra é separada em função dos volumes hidrodinâmicos dos diversos componentes (2).

A separação é efectuada por passagem através de uma coluna cujo enchimento consiste num material poroso, de modo geral um gel orgânico. As moléculas de dimensões mais reduzidas passam através dos poros, sendo as restantes excluídas. A fixação das moléculas de maiores dimensões é, pois, menor, sendo eluídas em primeiro lugar. As moléculas de dimensões médias passam através de alguns poros, sendo eluídas numa fase posterior. Finalmente, as moléculas de dimensões mais reduzidas, que possuem um raio hidrodinâmico inferior ao dos poros do gel, penetram estes últimos, sendo eluídas em último lugar.

Em condições ideais, a separação é determinada apenas pelas dimensões das moléculas, embora, na prática, seja difícil evitar algumas interferências devidas à absorção. A não uniformidade do enchimento e a existência de volumes mortos poderão induzir problemas complementares (2).

A detecção pode ser efectuada com base no índice de refração ou por absorção no ultravioleta, originando uma curva de distribuição simples. Todavia, de modo a atribuir valores de massa molecular aos vários pontos da curva, é necessário efectuar uma calibração por recurso a polímeros de massa molecular conhecida e, se possível, de estrutura similar, nomeadamente padrões de poliestireno. A curva resultante da representação gráfica da quantidade, expressa em massa, das diversas espécies eluídas em função do logaritmo da massa molecular deve exibir uma distribuição de Gauss, por vezes distorcida por uma ligeira assimetria na região das massas moleculares mais reduzidas.

O teor de espécies de baixa massa molecular é determinado a partir da curva. O respectivo cálculo preciso depende da reprodução do comportamento do polímero por parte das referidas espécies, por unidade de massa.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

A repetibilidade (desvio-padrão relativo) do volume de eluição deve ser superior a 0,3 %. Se um cromatograma elaborado em função do tempo não corresponder aos critérios *supra* deve assegurar-se a necessária repetibilidade da análise mediante correcção por recurso a um padrão interno (1). As polidispersões dependem da massa molecular de cada padrão. No caso da utilização de padrões de poliestireno, os valores característicos são os seguintes:

$M_p < 2\,000$	$M_w/M_n < 1,20$
$2\,000 \leq M_p \leq 10^6$	$M_w/M_n < 1,05$
$M_p > 10^6$	$M_w/M_n < 1,20$

(M_p representa a massa molecular do padrão correspondente ao máximo do pico).

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.6.1. Preparação das soluções-padrão de poliestireno

Os padrões de poliestireno são dissolvidos, com agitação, no eluente escolhido, tendo em conta as recomendações do fabricante.

As concentrações dos padrões dependem de vários factores, nomeadamente o volume de injeção, a viscosidade da solução e a sensibilidade do detector. Deve adaptar-se o volume de injeção máximo ao comprimento da coluna, de modo a evitar uma sobrecarga. Os volumes de injeção característicos de separações analíticas por cromatografia de permeação em gel com uma coluna de 30 cm × 7,8 mm situam-se, de modo geral, entre 40 e 100 µl. É possível injectar volumes superiores, que não devem, contudo, exceder 250 µl. Antes de calibrar a coluna, deve determinar-se o rácio adequado volume de injeção/concentração.

1.6.2. Preparação da solução de amostra

De modo geral, as condições atrás referidas são também aplicáveis à preparação das soluções de amostra. Esta última é dissolvida num solvente adequado, nomeadamente tetra-hidrofurano (THF), sob agitação cuidadosa. Em caso algum deverá utilizar-se um banho de ultra-sons. Se necessário, a solução de amostra pode ser purificada por passagem através de um filtro de membrana, cujos poros deverão ter dimensões compreendidas entre 0,2 e 2 µm.

Deve referir-se no relatório final a eventual presença de partículas não dissolvidas, que poderão conter espécies de massa molecular superior. Deve utilizar-se um método adequado para determinar a percentagem ponderal das partículas em causa. As soluções devem ser utilizadas nas 24 horas subseqüentes à sua preparação.

1.6.3. **Correcções determinadas pela presença de impurezas e aditivos**

No que respeita ao teor de espécies com $M < 1\,000$, torna-se geralmente necessário introduzir uma correcção destinada a ter em conta a presença de componentes específicos não poliméricos (nomeadamente impurezas e aditivos), excepto no caso de o teor determinado ser inferior a 1 %. A referida correcção pode ser efectuada por análise directa da solução de polímero ou da solução obtida após a eluição cromatográfica.

Se a solução obtida por eluição cromatográfica for demasiado diluída para permitir a análise, deverá ser concentrada, podendo ser necessário evaporá-la à secura, redissolvendo o resíduo. A concentração deve ser efectuada em condições que assegurem a não concorrência de alterações na solução eluída. O tratamento desta depende do método analítico utilizado para a análise quantitativa.

1.6.4. **Equipamento**

O equipamento de cromatografia de permeação em gel inclui os seguintes componentes:

- reservatório de solvente,
- degaseificador (se adequado),
- bomba,
- amortecedor de pulsações (se adequado),
- sistema de injeção,
- colunas cromatográficas,
- detector,
- medidor de caudal (se adequado),
- sistema de registo e processamento de dados,
- recipiente para resíduos.

Deve assegurar-se o carácter inerte do sistema cromatográfico em relação aos solventes utilizados (nomeadamente no caso da utilização de capilares de aço com THF).

1.6.5. **Sistema de injeção e de aporte de solvente**

Introduz-se na coluna um determinado volume de solução de amostra, manualmente ou por intermédio de um amostrador automático, numa zona bem definida. No caso da introdução manual, a compressão do êmbolo ou a retirada da seringa demasiado rápidas poderão determinar alterações na distribuição de massas moleculares obtida. O sistema de aporte de solvente deve ser uniforme, recorrendo, se possível, a um amortecedor de pulsações. O caudal deve ser da ordem de 1 ml/min.

1.6.6. **Coluna**

Em função do tipo de amostra, os polímeros são analisados por recurso a uma única coluna ou a diversas colunas ligadas em série. Encontram-se disponíveis nos circuitos comerciais colunas de materiais porosos com propriedades (por exemplo, dimensões dos poros, limites de exclusão) bem definidas. A selecção do gel a utilizar, bem como do comprimento da coluna, depende das propriedades da amostra (volumes hidrodinâmicos, distribuição das massas moleculares) e das condições específicas de separação, nomeadamente o tipo de solvente utilizado, a temperatura e o caudal (1) (2) (3).

1.6.7. Pratos teóricos

Deve caracterizar-se a coluna ou sistema de colunas a utilizar na separação pelo respectivo número de pratos teóricos. No caso da utilização de THF como solvente de eluição, introduzir uma solução de etilbenzeno ou outro soluto apolar adequado numa coluna de comprimento conhecido. O número de pratos teóricos é dado pela equação:

$$N = 5,54 \left(\frac{V_e}{W_{1/2}} \right)^2 \quad \text{ou} \quad N = 16 \left(\frac{V_e}{W} \right)^2$$

em que:

N = representa o número de pratos teóricos,
 V_e = representa o volume de eluição correspondente ao máximo do pico,
 W = representa a largura da base do pico,
 $W_{1/2}$ = representa a largura do pico a meia altura.

1.6.8. Eficiência de separação

Além do número de pratos teóricos, que determina a largura das bandas, a eficiência de separação, obtida a partir do declive da curva de calibração, desempenha também um papel importante. A eficiência de separação de uma coluna é dada por:

$$\frac{V_{e,M_x} - V_{e,(10M_x)}}{\text{secção transversal da coluna}} \geq 6,0 \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^2} \right]$$

em que

V_{e,M_x} = representa o volume de eluição de uma fracção de poliestireno com massa molecular M_x e
 $V_{e,(10M_x)}$ = representa o volume de eluição de uma fracção de poliestireno com massa molecular dez vezes superior.

A resolução do sistema é geralmente definida do seguinte modo:

$$R_{1,2} = 2 \times \frac{V_{e1} - V_{e2}}{W_1 + W_2} \times \frac{1}{\log_{10}(M_2/M_1)}$$

em que

V_{e1}, V_{e2} = representam os volumes de eluição dos dois padrões de poliestireno, correspondentes ao máximo dos picos,

W_1, W_2 = representam a largura da base dos picos, e

M_1, M_2 = representam as massas moleculares correspondentes aos máximos dos picos, devendo diferir num factor de 10.

O valor R do sistema de colunas deve ser superior a 1,7 (4).

1.6.9. Solventes

Todos os solventes devem possuir um elevado grau de pureza (no caso do THF, o grau de pureza deve ser de 99,5 %). As dimensões do reservatório de solvente (que pode, se necessário, encontrar-se sob atmosfera inerte) devem ser suficientes para permitir a calibração da coluna e a realização de diversas análises. O solvente deve ser desgaseificado antes da sua introdução na coluna por intermédio da bomba.

1.6.10. Controlo da temperatura

A temperatura dos componentes críticos internos (septo de injeção, colunas, detector e tubagens) deve ser constante e adequada ao solvente escolhido.

1.6.11. Detector

A função do detector consiste no registo quantitativo da concentração da amostra eluída da coluna. De modo a evitar o alargamento dos picos, o volume da célula de detecção deve ser tão reduzido quanto possível, não devendo exceder 10 µl, excepto no caso dos detectores de difusão de radiações e de viscosidade. O método de

detecção mais corrente consiste na refractometria diferencial. Todavia, se as propriedades específicas da amostra ou do solvente de eluição o justificarem, podem utilizar-se outros tipos de detectores, nomeadamente de radiação ultravioleta/visível, infravermelha e detectores de viscosidade.

2. RESULTADOS E SUA APRESENTAÇÃO

2.1. RESULTADOS

Para pormenores sobre os critérios de avaliação, bem como no que respeita às exigências em matéria de recolha e processamento de dados, deve consultar-se a norma DIN relevante (1).

Devem efectuar-se duas análises independentes e individuais de cada amostra. Em todos os casos, devem efectuar-se também ensaios em branco, em condições idênticas.

Deve indicar-se explicitamente que os valores determinados constituem valores relativos expressos em equivalentes da massa molecular do padrão utilizado.

Após a determinação dos volumes de retenção ou tempos de retenção (eventualmente corrigidos por recurso a um padrão interno), representa-se graficamente o logaritmo de M_p (valor correspondente ao máximo do pico relativo ao padrão de calibração) em função de um dos parâmetros referidos. São necessários pelo menos dois pontos de calibração por década de massas moleculares e pelo menos cinco pontos para a curva total, que deve abranger a massa molecular estimada da amostra. A extremidade da curva de calibração correspondente às massas moleculares mais reduzidas é definida pelo n-hexilbenzeno ou outro solvente apoiar adequado. A parte da curva correspondente a massas moleculares inferiores a 1 000 determina-se e se necessário corrige-se para aditivos e impurezas. Caso se recorra ao tratamento manual dos mesmos, pode consultar-se a norma ASTM D 3536-91 (3).

Caso fique retido na coluna um polímero insolúvel, é provável que a sua massa molecular seja superior à massa molecular da fracção solúvel, pelo que a não tomada em conta do mesmo no cálculo do teor de espécies de baixa massa molecular determinará uma sobrestimativa deste último. Apresentam-se em apêndice directrizes para a correcção do teor de espécies de baixa massa molecular de polímeros insolúveis.

Deve apresentar-se a distribuição na forma de quadro ou de gráfico (percentagem da soma ou do diferencial da frequência em função de $\log M$). Na representação gráfica, uma década de massas moleculares deve corresponder a cerca de 4 cm, devendo a altura máxima dos picos ser de cerca de 8 cm. No caso de curvas de distribuição integral, a diferença entre 0 e 100 % deve corresponder a cerca de 10 cm.

2.2. RELATÓRIO

O relatório do ensaio deve incluir as seguintes informações:

2.2.1. Substância em estudo

- Dados disponíveis sobre a substância em estudo (identidade, aditivos, impurezas),
- descrição do tratamento da amostra, observações, problemas.

2.2.2. Equipamento

- Reservatório de eluente, gás inerte, desgaseificação do eluente, composição do eluente, impurezas,
- bomba, amortecedor de pulsações, sistema de injeção,
- colunas de separação (fabricante, todas as informações disponíveis sobre as características das colunas, nomeadamente dimensões dos poros, tipo de material utilizado, número, comprimento e ordem de utilização das colunas),
- número de pratos teóricos da coluna ou sistema de colunas; eficiência de separação (resolução do sistema),
- informações relativas à simetria dos picos,

- temperatura da coluna, tipo de controlo da temperatura utilizado,
- detector (princípio utilizado, tipo, volume da célula),
- medidor de caudal, se utilizado (fabricante, princípio utilizado),
- sistema de registo e processamento dos dados (equipamento e suporte lógico).

2.2.3. **Calibração do sistema**

- Descrição pormenorizada do método utilizado para obter a curva de calibração,
- informações relativas aos critérios de qualidade aplicáveis ao método (por exemplo, coeficiente de correlação, erro quadrático médio, etc.),
- informações relativas às extrapolações, hipóteses e aproximações efectuadas no decurso do processo experimental, bem como da avaliação e processamento dos dados,
- devem apresentar-se na forma de quadro os dados utilizados para a obtenção da curva de calibração, incluindo, para cada ponto de calibração, as seguintes informações:
 - nome da amostra,
 - fabricante da amostra,
 - valores de M_p , M_n , M_w , M_w/M_n característicos dos padrões, fornecidos pelo fabricante ou obtidos em determinações posteriores, bem como pormenores sobre o método de determinação utilizado,
 - volume de injeção e concentração da substância injectada,
 - valor de M_p utilizado para a calibração,
 - volume de eluição ou tempo de retenção corrigido correspondentes ao máximo dos picos,
 - valores de M_p correspondentes ao máximo dos picos,
 - percentagem de erro dos valores de M_p calculados e do valor de calibração.

2.2.4. **Informações sobre o teor em polímeros de baixa massa molecular**

- Descrição dos métodos de análise e dos procedimentos utilizados,
- informações relativas ao teor de espécies e baixa massa molecular da amostra, expresso em percentagem ponderal,
- informações relativas ao teor de impurezas, aditivos e de outras espécies não poliméricas da amostra, expresso em percentagem ponderal.

2.2.5. **Avaliação**

- Avaliação com base no tempo: métodos utilizados para assegurar a reprodutibilidade requerida (método de correcção, padrão interno, etc.),
- informações que indiquem se a avaliação foi efectuada com base no volume de eluição ou no tempo de retenção,
- informações sobre os limites de avaliação, caso um pico não seja totalmente analisado,

- descrição dos eventuais métodos de nivelamento de dados utilizados,
- processos de preparação e tratamento prévio da amostra,
- eventual presença de partículas não dissolvidas,
- volume de injeção (expresso em µl) e concentração de injeção (expressa em mg/ml),
- observações que indiquem efeitos susceptíveis de induzir desvios relativamente às condições cromatográficas ideais,
- descrição pormenorizada das alterações aos procedimentos de ensaio,
- pormenores relativos às margens de erro,
- quaisquer outras informações e observações que possuam importância para a interpretação dos resultados.

3. REFERÊNCIAS

- (1) DIN 55672 (1995). Geldpermeationschromatographie (GPC) mit Tetrahydrofuran (THF) als Elutionsmittel, Teil 1.
- (2) Yau, W.W., Kirkland, J.J., and Bly, D.D. eds, (1979). Modern Size Exclusion Liquid Chromatography, J.Wiley and Sons.
- (3) ASTM D 3536-91 (1991). Standard Test Method for Molecular Weight Averages and Molecular Weight Distribution by Liquid Exclusion Chromatography (Gel Permeation Chromatography-GPC). American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania.
- (4) ASTM D 5296-92 (1992). Standard Test Method for Molecular Weight Averages and Molecular Weight Distribution of Polystyrene by High Performance Size-Exclusion Chromatography. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania.

*Apêndice***Directrizes para a correcção do teor de espécies de baixa massa molecular determinada pela presença de polímeros insolúveis**

A presença de polímeros insolúveis na amostra determina perdas de massa no decurso da análise por cromatografia de permeação em gel. Os polímeros insolúveis são retidos de forma irreversível na coluna ou filtro, enquanto que a porção solúvel da amostra prossegue o seu percurso. Se for possível estimar ou determinar o incremento do índice de refração do polímero (dn/dc), pode calcular-se a perda de massa na coluna. Neste caso, efectua-se uma correcção por recurso a calibração externa do refractómetro com substâncias-padrão de concentração e dn/dc conhecidos. No exemplo que se segue, utiliza-se um padrão de poli(metacrilato de metilo) (pMMA).

No caso dos polímeros acrílicos, a calibração externa consiste na análise por cromatografia de permeação em gel de uma solução de um padrão de pMMA em tetra-hidrofurano, de concentração conhecida; os dados resultantes são utilizados para calcular a constante do refractómetro, por recurso à fórmula:

$$K = R/(C \times V \times dn/dc)$$

em que:

- K = representa a constante do refractómetro, expressa em mV.s/ml,
- R = representa a resposta do padrão de pMMA, expressa em mV.s,
- C = representa a concentração do padrão de pMMA, expressa em mg/ml,
- V = representa o volume de injeção, expresso em ml,
- dn/dc = representa o incremento do índice de refração relativo à solução de pMMA em tetra-hidrofurano, expresso em ml/mg.

Os valores *infra* são característicos de um padrão de pMMA:

- R = 2 937 891
- C = 1,07 mg/ml
- V = 0,1 ml
- dn/dc = 9×10^{-5} ml/mg

O valor de K resultante ($3,05 \times 10^{11}$) é utilizado para o cálculo da resposta teórica do detector no caso da eluição e detecção da totalidade do polímero injectado.

A.20. COMPORTAMENTO DOS POLÍMEROS DA DISSOLUÇÃO/EXTRACÇÃO AQUOSA**1. MÉTODO**

O presente método é idêntico à versão revista do método OCDE TG 120 (1997). As informações técnicas específicas são apresentadas na referência (1).

1.1. INTRODUÇÃO

No caso de determinados polímeros, nomeadamente polímeros de emulsão, pode ser necessário efectuar trabalhos preliminares antes da aplicação do método descrito *infra*. O método não é aplicável a polímeros líquidos e polímeros que reajam com a água nas condições de ensaio.

Nos casos em que a aplicação do método não se afigure viável, pode investigar-se o comportamento dos polímeros na dissolução/extracção aquosa por recurso a outros métodos, devendo apresentar-se a justificação de tal facto, bem como a descrição pormenorizada dos métodos em causa.

1.2. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Não aplicável.

1.3. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

O comportamento dos polímeros na dissolução/extracção aquosa é determinado através do método do recipiente de vidro (ver A.6 — Solubilidade em água — método do recipiente de vidro) alterado do modo que se descreve de seguida.

1.4. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

Não aplicável.

1.5. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO**1.5.1. Equipamento**

O equipamento necessário à aplicação do método é o seguinte:

- dispositivo de trituração (por exemplo, triturador que produza partículas de dimensões conhecidas),
- dispositivo de agitação com possibilidade de controlo da temperatura,
- sistema de filtros de membrana,
- equipamento analítico adequado,
- crivos normalizados.

1.5.2. Preparação da amostra

Por recurso a crivos adequados, reduz-se uma amostra representativa a uma granulometria compreendida entre 0,125 e 0,25 mm. De modo a assegurar a estabilidade da amostra ou do processo de trituração, pode ser necessário utilizar um sistema de refrigeração. Os materiais com consistência idêntica à da borracha podem ser triturados à temperatura do azoto líquido (1).

Caso não se obtenham partículas com a granulometria desejada, deve procurar reduzir-se tanto quanto possível as dimensões das mesmas, referindo tal facto no relatório. Este último deve também indicar o modo de armazenagem da amostra triturada, antes da sua utilização no ensaio.

1.5.3. Procedimento

Pesam-se três porções de 10 g da substância em estudo, que se colocam em três recipientes munidos de rolhas de vidro, a cada um dos quais se adicionam 1 000 ml de água. Caso a utilização de 10 g de amostra se revele impraticável, deve utilizar-se a quantidade máxima possível, ajustando o volume de água proporcionalmente à mesma.

Os recipientes são hermeticamente fechados e agitados a 20 °C. Deve utilizar-se um dispositivo de agitação ou dissolução que funcione a temperatura constante. Após 24 horas, centrifuga-se ou filtra-se o conteúdo de cada recipiente, determinando-se a concentração do polímero na fase aquosa límpida por recurso a um método analítico adequado. Caso não se encontrem disponíveis métodos analíticos adequados aplicáveis à fase aquosa, pode estimar-se a solubilidade ou extractividade totais com base na massa a seco do resíduo de filtração ou do precipitado obtido por centrifugação.

Em geral, é necessário efectuar uma distinção quantitativa entre as impurezas e os aditivos, por um lado, e as espécies de baixa massa molecular, por outro. No caso da determinação gravimétrica, deve também efectuar-se um ensaio em branco, de modo a avaliar a contribuição de eventuais resíduos decorrentes do processo experimental.

O comportamento dos polímeros na dissolução/extracção aquosa a 37 °C, a pH 2 e pH 9 determina-se como descrito para a experiência a 20 °C. O pH das soluções é corrigido através da adição quer de tampões quer de ácidos ou bases adequados, nomeadamente ácido clorídrico, ácido acético, hidróxido de sódio ou de potássio de qualidade analítica e amónia.

Em função do método analítico utilizado, devem efectuar-se um ou dois ensaios. Sempre que seja possível utilizar métodos suficientemente específicos que permitam a determinação directa do componente polimérico na fase aquosa, pode efectuar-se um único ensaio, tal como descrito *supra*. Todavia, caso tal não seja possível e seja necessário determinar o comportamento dos polímeros na dissolução/extracção aquosa do polímero por um processo indirecto, nomeadamente através da determinação do teor de carbono orgânico total do extracto aquoso, deve efectuar-se um ensaio complementar em triplicado, utilizando amostras de polímeros dez vezes inferiores e volumes de água idênticos aos utilizados no primeiro ensaio.

1.5.4. Análise

1.5.4.1. Ensaio efectuado com uma única granulometria

Alguns métodos permitem a análise directa dos componentes poliméricos na fase aquosa. Todavia, como alternativa, pode proceder-se à análise indirecta dos componentes poliméricos dissolvidos/extraídos mediante a determinação do teor total de componentes solúveis, aplicando uma correcção destinada a ter em conta a presença de componentes específicos não poliméricos.

A determinação das espécies poliméricas totais na fase aquosa pode ser efectuada por recurso a um método suficientemente sensível, como por exemplo:

- determinação do carbono orgânico total mediante digestão com persulfato ou dicromato, de modo a obter CO₂, que é seguidamente doseado por espectroscopia de infravermelhos ou análise química,
- espectrometria de absorção atómica ou, no caso de polímeros que contenham silício ou metais, de plasma indutivo,
- espectroscopia de absorção ou espectrofluorimetria no ultravioleta, no caso de polímeros arílicos,
- cromatografia em fase líquida acoplada com espectrometria de massa, no caso de amostras de baixa massa molecular.

A referida determinação pode também ser efectuada por evaporação à secura, sob vácuo, do extracto aquoso, seguida de análise do resíduo por espectroscopia de infravermelhos, ultravioleta, etc., ou espectrometria de absorção atómica de plasma indutivo.

Caso a análise da fase aquosa não seja viável, esta última deve ser extraída com um solvente orgânico não miscível em água, nomeadamente um hidrocarboneto clorado. Procede-se em seguida à evaporação do solvente e determinação do teor de polímero de acordo com o método descrito *supra*. Na determinação do grau de dissolução/extracção do polímero devem subtrair-se quaisquer componentes do resíduo identificados como impurezas ou aditivos.

Caso se encontrem presentes quantidades relativamente elevadas das referidas matérias, pode ser necessário analisar o resíduo por HPLC ou cromatografia em fase gasosa, com o objectivo de distinguir as impurezas do monómero e das espécies presentes derivadas do mesmo, de modo a determinar o respectivo teor.

Em alguns casos, poderá bastar a evaporação do solvente orgânico à secura e subsequente pesagem do resíduo seco.

1.5.4.2. *Ensaio efectuado com duas granulometrias*

Determina-se o teor de carbono orgânico total dos extractos aquosos.

Efectua-se uma determinação gravimétrica com a porção não dissolvida e não extraída da amostra. Se, após a centrifugação ou filtragem do conteúdo de um determinado recipiente, permanecerem resíduos poliméricos nas respectivas paredes, deve lavar-se o mesmo com o filtrado até que não se observem quaisquer resíduos, procedendo então a uma nova centrifugação e filtragem. Os resíduos que permaneçam no filtro ou no tubo de centrifugação são secos a 40 °C, sob vácuo, e pesados.

2. **RESULTADOS**

2.1. ENSAIO EFECTUADO COM UMA ÚNICA GRANULOMETRIA

Devem apresentar-se os resultados relativos a cada recipiente, bem como os valores médios, expressos em unidades de massa por volume de solução (de modo geral, mg/l) ou de massa por massa de amostra de polímero (de modo geral, mg/g). Deve também fornecer-se a perda de massa da amostra, expressa no quociente entre a massa de soluto e a massa inicial da amostra, bem como os desvios-padrão relativos. Devem apresentar-se dados relativos à totalidade da substância (polímero + aditivos essenciais, etc.) e apenas ao polímero (após subtracção do teor de aditivos).

2.2. ENSAIO EFECTUADO COM DUAS GRANULOMETRIAS

Os teores de carbono orgânico total dos diversos extractos aquosos (ensaios em triplicado), bem como o valor médio relativo a cada ensaio, devem ser expressos em unidades de massa por volume de solução (de modo geral, mgC/l) ou de massa por massa de amostra de polímero (de modo geral, mgC/g).

O facto de não se observarem diferenças entre os resultados relativos aos rácios superior e inferior amostra/água poderá indicar a extracção efectiva de todos os componentes extractáveis. Neste caso, não é geralmente necessário proceder à análise directa.

Devem apresentar-se as massas dos diversos resíduos, expressas em percentagem das massas iniciais das amostras, calculando as médias relativas a cada ensaio. A diferença entre 100 % e as percentagens obtidas representa as percentagens de matérias solúveis e extractáveis nas amostras originais.

3. **RELATÓRIO**

3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deve incluir as seguintes informações:

3.1.1. **Substância em estudo**

- Informações disponíveis sobre a substância em estudo (identidade, aditivos, impurezas, teor de espécies de baixa massa molecular).

3.1.2. **Condições experimentais**

- Descrição dos procedimentos utilizados e das condições experimentais,
- descrição dos métodos analíticos e de detecção utilizados.

3.1.3. Resultados

- Solubilidade ou extractividade, expressas em mg/ml; valores individuais e médios obtidos nos ensaios de extracção das diversas soluções, discriminando o teor de polímero e de impurezas, aditivos, etc.,
- solubilidade ou extractividade do polímero, expressas em mg/ml,
- teor de carbono orgânico total dos extractos aquosos, massa do soluto e percentagens calculadas, se for caso disso,
- pH de cada amostra,
- resultados dos ensaios em branco,
- sempre que necessário, referências à instabilidade química da substância em estudo no decurso dos processos de ensaio e analítico,
- quaisquer informações que possuam importância para a interpretação dos resultados.

4. REFERÊNCIAS

- (1) DIN 53733 (1976). Zerkleinerung von Kunststoffzeugnissen für Prüfzwecke.

A.21. PROPRIEDADES DE COMBURÊNCIA (LÍQUIDOS)**1. MÉTODO****1.1. INTRODUÇÃO**

O presente método de ensaio destina-se à determinação do potencial de uma substância líquida de aumentar a velocidade ou intensidade de combustão de uma substância combustível, ou de formar misturas homogêneas com uma substância combustível que possam sofrer ignição espontânea. O método baseia-se no ensaio da ONU para líquidos comburentes (1), ao qual é equivalente. Todavia, uma vez que o método A.21 se destina essencialmente a satisfazer as exigências da Directiva 67/548/CEE, apenas é necessária a comparação com uma substância de referência. Caso se preveja que os resultados do ensaio sejam utilizados para outros fins, pode ser necessário efectuar ensaios complementares e comparações com outras substâncias de referência ⁽¹⁾.

Não é necessário realizar o ensaio se uma análise simples da fórmula estrutural da substância permitir estabelecer com um grau de confiança elevado que a mesma não reage exotermicamente com matérias combustíveis.

Antes de realizar o ensaio, é conveniente obter informações sobre eventuais propriedades explosivas da substância.

O método não é aplicável a sólidos, gases e outras substâncias explosivas ou altamente inflamáveis, nem a peróxidos orgânicos.

Não é necessário realizar o ensaio se existirem dados referentes à substância em estudo obtidos por aplicação do ensaio da ONU para líquidos comburentes (1).

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

O tempo médio necessário para o aumento da pressão é a média dos tempos determinados necessários para que a pressão da mistura em estudo aumente de 690 kPa para 2 070 kPa acima da pressão atmosférica.

1.3. SUBSTÂNCIA DE REFERÊNCIA

Utiliza-se como substância de referência uma solução aquosa a 65 %, em massa, de ácido nítrico de qualidade analítica ⁽²⁾.

Caso o experimentador preveja que os resultados do ensaio sejam utilizados para outros fins ⁽¹⁾, pode revelar-se adequado efectuar ensaios com outras substâncias de referência ⁽³⁾.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

O líquido em estudo é misturado, na proporção 1:1, em massa, com fibras de celulose, e introduzido num recipiente pressurizado. Se, durante o processo de mistura ou enchimento, ocorrer ignição espontânea, não é necessário prosseguir o ensaio.

Caso não ocorra ignição espontânea, realiza-se o ensaio na sua totalidade. A mistura é aquecida no recipiente pressurizado, determinando-se o tempo médio necessário para que a pressão aumente de 690 kPa para 2 070 kPa acima da pressão atmosférica. Este tempo é comparado com o tempo médio necessário para o aumento da pressão da mistura na proporção de 1:1 da(s) substância(s) de referência com celulose.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

Os resultados de uma série de cinco ensaios com uma determinada substância não devem diferir em mais de 30 % da média aritmética. Devem desprezar-se os resultados que mostrem uma divergência superior a 30 % relativamente à média, alterando-se os procedimentos de mistura e enchimento, após o que deve repetir-se o ensaio.

⁽¹⁾ Por exemplo, o ensaio no âmbito da regulamentação da ONU relativa ao transporte de mercadorias perigosas.

⁽²⁾ O ácido deve ser titulado antes do ensaio, de modo a confirmar a sua concentração.

⁽³⁾ Na referência 1, por exemplo, utilizam-se ácido perclórico a 50 %, em massa, e clorato de sódio a 40 %, em massa.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

1.6.1. Preparação

1.6.1.1. Substância combustível

Utilizam-se como matéria combustível fibras de celulose secas, de comprimento compreendido entre 50 e 250 µm e diâmetro médio 25 µm ⁽¹⁾. As fibras são secas a massa constante, numa placa de espessura não superior a 25 mm, a 105 °C, durante 4 horas, e mantidas num exsiccador com exsicante, até ao arrefecimento e utilização. O teor de humidade da celulose seca deve ser inferior a 0,5 % em relação à massa seca ⁽²⁾. Para tal, se necessário, deve prolongar-se o tempo de secagem ⁽³⁾. Deve utilizar-se o mesmo lote de celulose em todo o ensaio.

1.6.1.2. Equipamento

1.6.1.2.1. Dispositivo pressurizado

Deve utilizar-se um dispositivo constituído por um recipiente pressurizado de aço de forma cilíndrica, com 89 mm de comprimento e 60 mm de diâmetro externo (ver figura 1). São maquinadas duas superfícies planas em lados opostos, reduzindo a secção local do recipiente para 50 mm, de modo a facilitar a imobilização durante a colocação dos obturadores de ignição e de ventilação. O recipiente, com um diâmetro interno de 20 mm, é rebaixado internamente em ambas as extremidades até uma profundidade de 19 mm e roscado para tubos normalizados BSP (*British Standard Pipe*) de 1", ou o seu equivalente no sistema métrico. É enroscada à superfície curva do recipiente pressurizado uma tomada de pressão, a 35 mm de uma das extremidades, perpendicularmente às superfícies planas maquinadas. O encaixe, roscado para receber a rosca da tomada de pressão (tubo normalizado BSP de 1/2", ou o seu equivalente no sistema métrico), é realizado a uma profundidade de 12 mm. Se necessário, é instalada uma junta de material inerte, de modo a assegurar estanquidade aos gases. A tomada de pressão tem um comprimento exterior de 55 mm relativamente ao corpo do dispositivo e um furo axial com 6 mm de diâmetro. A extremidade da tomada de pressão é rebaixada e roscada de forma a receber um transdutor de pressão com diafragma. Pode utilizar-se qualquer dispositivo de medição de pressão que não seja atacado pelos gases de combustão ou produtos de decomposição e seja adequado a aumentos de pressão de 690-2 070 kPa em não mais de 5 minutos.

A extremidade do recipiente pressurizado mais distante da tomada de pressão é tapada com um obturador de ignição e munida de dois eléctrodos, um dos quais isolado do corpo do obturador e o outro ligado à massa. A extremidade oposta do recipiente é fechada por um disco de ruptura adequado a uma pressão de ruptura de 2 200 kPa, mantido em posição por um obturador de retenção com um furo axial de 20 mm de diâmetro. Se necessário, é instalada uma junta de material inerte, de modo a assegurar estanquidade aos gases. Durante a utilização, o dispositivo é mantido na posição correcta por meio de um suporte (figura 2), geralmente constituído por uma placa de aço macio com 235 mm × 184 mm × 6 mm e um tubo de 185 mm de comprimento e secção quadrada de 70 mm × 70 mm × 4 mm.

São cortados dois lados opostos na extremidade do tubo, de modo a obter uma estrutura constituída por uma secção de tubo intacto com 86 mm de comprimento prolongada por dois lados até à base. As extremidades destes lados são cortadas de modo a formar um ângulo de 60° com a horizontal e soldadas à placa de aço macio que constitui a base. É maquinada num dos lados da extremidade superior da base uma fenda com 22 mm de largura e 46 mm de profundidade, de modo que, ao colocar o dispositivo pressurizado com o obturador de ignição para baixo, a tomada de pressão encaixe na fenda. É soldada à face interna do lado inferior do tubo um espaçador de aço com 30 mm de largura e 6 mm de espessura. O dispositivo pressurizado é mantido firmemente em posição por dois parafusos de orelhas de 7 mm, colocados no lado oposto, e apoiado inferiormente por dois elementos prismáticos de aço de 12 mm de largura e 6 mm de espessura, soldados às peças laterais na base da porção intacta do tubo.

1.6.1.2.2. Sistema de ignição

O sistema de ignição é constituído por um cabo de níquel-crómio de 25 cm de comprimento e 0,6 mm de secção, com uma resistência de 3,85 ohm/m. O cabo é enrolado em forma de bobina por recurso a uma haste de 5 mm de secção, e ligado aos eléctrodos do obturador de ignição. A bobina deve apresentar uma das configurações que se ilustram na figura 3. A distância entre a extremidade inferior do recipiente e a superfície interior da bobina de ignição deve ser de 20 mm. Caso os eléctrodos não sejam ajustáveis, as extremidades do cabo de ignição entre a bobina e a base do recipiente devem ser isoladas por um elemento de cerâmica. O cabo é aquecido por acção de uma corrente contínua de intensidade mínima 10 A.

1.6.2. Realização do ensaio ⁽⁴⁾

O dispositivo completo, incluindo o transdutor de pressão e o sistema de aquecimento, mas sem o disco de ruptura na respectiva posição, é colocado com o obturador de ignição para baixo. Com o auxílio de um agitador de vidro ⁽⁵⁾, misturam-se num recipiente de vidro 2,5 g do líquido em estudo com 2,5 g de celulose seca. Por motivos de segurança, a mistura deve ser executada com um dispositivo de segurança interposto entre o operador e a mistura. Em caso de ignição durante os processos de mistura ou o enchimento, não é necessário

⁽¹⁾ Por exemplo, celulose Whatman para cromatografia em coluna, referência CF 11, n.º de catálogo 4021 050.

⁽²⁾ Confirmado, por exemplo, através de uma titulação de Karl Fisher.

⁽³⁾ Como alternativa, pode obter-se o teor de humidade em causa por aquecimento a 105 °C, sob vácuo, durante 24 h.

⁽⁴⁾ As misturas de substâncias comburentes com celulose devem ser consideradas potencialmente explosivas, devendo manipular-se com os devidos cuidados.

⁽⁵⁾ Na prática, pode preparar-se uma quantidade de mistura na proporção 1:1 do líquido em estudo com celulose superior à necessária para o ensaio, transferindo 5 ± 0,1 g da mesma para o recipiente pressurizado. A mistura deve ser preparada antes de cada ensaio.

prosseguir o ensaio. A mistura é vertida em pequenas porções no recipiente pressurizado, agitando ligeiramente, devendo assegurar-se a acumulação em torno da bobina de ignição, de forma a estabelecer um bom contacto. A bobina não deve ser distorcida durante o processo de enchimento, facto que poderia determinar resultados erróneos ⁽¹⁾. O disco de ruptura é colocado na respectiva posição e o obturador de retenção enroscado firmemente. O recipiente carregado, com o disco de ruptura no topo, é transferido para o suporte, que deve estar colocado numa chaminé ou câmara com protecção. A fonte de alimentação é ligada aos terminais externos do obturador de ignição, aplicando-se uma corrente de 10 A. O tempo decorrido entre o início da mistura e o estabelecimento da corrente eléctrica não deve exceder 10 minutos.

O sinal produzido pelo transdutor de pressão é transmitido a um sistema adequado que permita a detecção e o registo contínuos da alteração da pressão (por exemplo, um detector em contínuo acoplado a um registador). A mistura é aquecida até à ruptura do disco de ruptura ou até terem decorrido, pelo menos, 60 segundos. Caso o disco não sofra ruptura, deve deixar-se arrefecer a mistura antes de desmontar cuidadosamente o dispositivo, tomando as precauções inerentes a uma eventual pressurização. Realizam-se cinco ensaios com a substância em estudo e a(s) substância(s) de referência. Regista-se o tempo necessário para a pressão aumentar de 690 kPa para 2 070 kPa acima da pressão atmosférica, calculando-se então o tempo médio necessário para o aumento da pressão.

Algumas substâncias produzem um aumento de pressão excessivo ou demasiado reduzido, determinado por reacções químicas independentes das propriedades de comburência das substâncias. Nesses casos, pode ser necessário repetir o ensaio, utilizando uma substância inerte, como, por exemplo, terra de diatomáceas (*kieselguhr*), em vez da celulose, de modo a esclarecer a natureza da reacção.

2. DADOS

Tempos necessários para o aumento da pressão da(s) substância(s) em estudo e de referência. Tempos necessários para o aumento da pressão no caso dos ensaios com substâncias inertes, se for caso disso.

2.1. TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Calculam-se os tempos médios necessários para o aumento da pressão da(s) substância(s) em estudo e de referência.

Calcula-se o tempo médio necessário para o aumento da pressão no ensaio com a substância inerte, se realizado.

O quadro 1 fornece alguns exemplos de resultados:

Quadro 1

Exemplos de resultados ^(a)

Substância ^(b)	Tempo médio necessário para o aumento da pressão (mistura com celulose na proporção 1:1) (ms)
Solução aquosa saturada de dicromato de amónio	20 800
Solução aquosa saturada de nitrato de cálcio	6 700
Solução aquosa saturada de nitrato férrico	4 133
Solução aquosa saturada de perclorato de lítio	1 686
Solução aquosa saturada de perclorato de magnésio	777
Solução aquosa saturada de nitrato de níquel	6 250
Ácido nítrico a 65 %	4 767 ^(c)
Ácido perclórico a 50 %	121 ^(c)
Ácido perclórico a 55 %	59
Solução aquosa a 30 % de nitrato de potássio	26 690
Solução aquosa saturada de nitrato de prata	^(d)
Solução aquosa a 40 % de clorato de sódio	2 555 ^(c)

⁽¹⁾ Deve evitar-se, em especial, o contacto entre espiras adjacentes da bobina.

Substância ^(b)	Tempo médio necessário para o aumento da pressão (mistura com celulose na proporção 1:1) (ms)
Solução aquosa a 45 % de nitrato de sódio	4 133
<i>Substância inerte</i>	
Água: celulose	^(d)
^(a) Ver a referência (1) para a classificação no âmbito da regulamentação da ONU em matéria de transporte de mercadorias perigosas.	
^(b) As soluções saturadas devem ser preparadas à temperatura de 20°C.	
^(c) Valor médio com base em ensaios de comparação interlaboratorial.	
^(d) Sem atingir a pressão máxima de 2 070 kPa.	

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DE ENSAIO

O relatório de ensaio deve incluir as seguintes informações:

- identidade, composição, grau de pureza, etc., da substância em estudo,
- concentração da substância em estudo,
- procedimento utilizado para a secagem da celulose,
- teor de humidade da celulose utilizada,
- resultados das determinações,
- resultados dos ensaios com substâncias inertes, se for caso disso,
- tempos médios necessários para o aumento da pressão determinados,
- quaisquer eventuais alterações do método e respectiva motivação,
- quaisquer informações complementares ou observações úteis para a interpretação dos resultados.

3.2. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS ⁽¹⁾

Os resultados do ensaio são interpretados com base nos seguintes critérios:

- a) Eventual ignição espontânea da mistura da substância em estudo com celulose; e
- b) Comparação do tempo médio necessário para o aumento da pressão de 690 kPa para 2 070 kPa com idêntico parâmetro da(s) substância(s) de referência.

Uma substância líquida é considerada comburente se:

- a) Uma mistura da substância com celulose na proporção 1:1, em massa, exibir ignição espontânea; ou

⁽¹⁾ Ver a referência n.º 1 para a interpretação dos resultados no âmbito da regulamentação da ONU relativa ao transporte de mercadorias perigosas, utilizando várias substâncias de referência.

Figura 2

Suporte do dispositivo

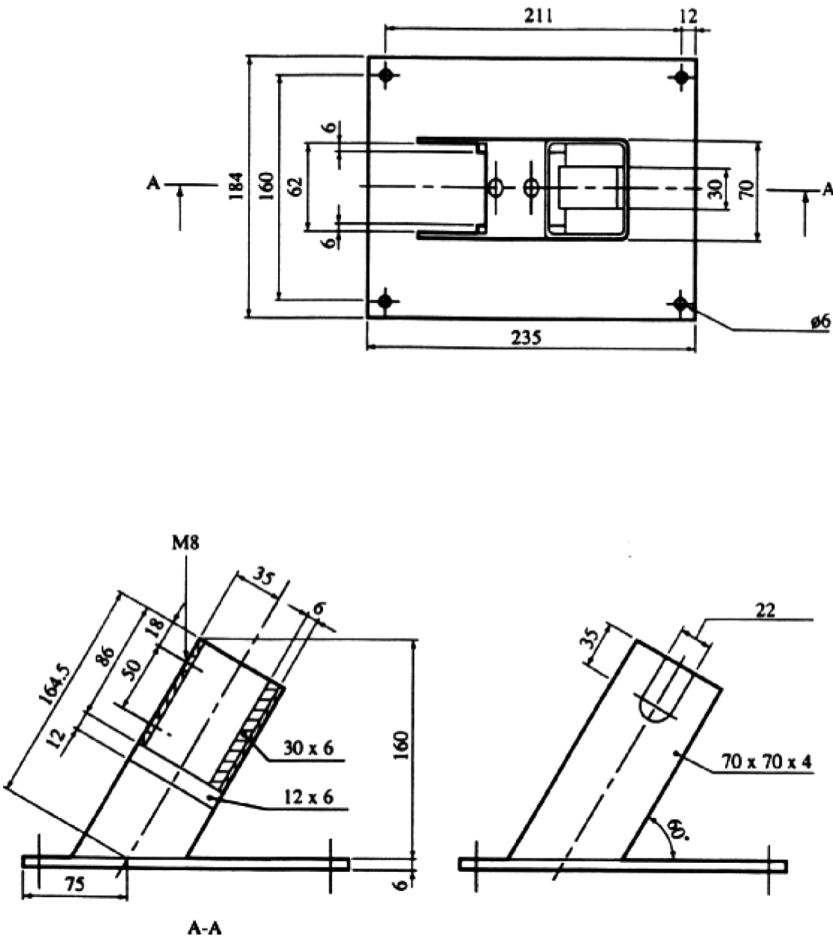
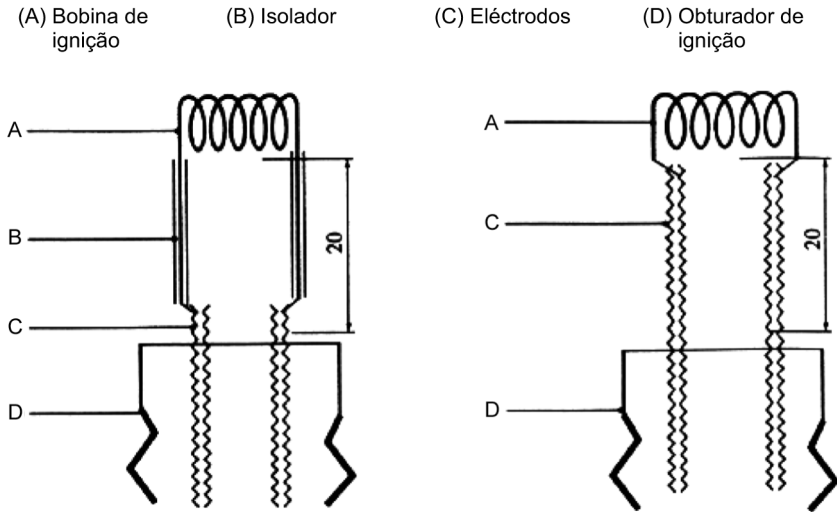


Figura 3

Sistema de ignição



Nota: Cada uma destas duas configurações pode ser utilizada

PARTE B: MÉTODOS PARA A DETERMINAÇÃO DA TOXICIDADE E DE OUTROS EFEITOS NA SAÚDE

ÍNDICE

INTRODUÇÃO GERAL	143
B.1.bis. TOXICIDADE ORAL AGUDA — PROCEDIMENTO DE DOSE FIXA	145
B.1.tris. TOXICIDADE ORAL AGUDA — MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO DE TOXICIDADE AGUDA	158
B.2. TOXICIDADE AGUDA (INALAÇÃO)	174
B.3. TOXICIDADE AGUDA (DÉRMICA)	178
B.4. TOXICIDADE AGUDA: IRRITAÇÃO/CORROSÃO DÉRMICA	182
B.5. TOXICIDADE AGUDA: IRRITAÇÃO/CORROSÃO OCULAR	191
B.6. SENSIBILIZAÇÃO CUTÂNEA	202
B.7. TOXICIDADE ORAL DA DOSE REPETIDA (28 DIAS)	210
B.8. TOXICIDADE (INALAÇÃO) DA DOSE REPETIDA (28 DIAS)	216
B.9. TOXICIDADE (DÉRMICA) DA DOSE REPETIDA (28 DIAS)	221
B.10. MUTAGENICIDADE — ENSAIO <i>IN VITRO</i> DE ABERRAÇÕES CROMOSSÓMICAS EM MAMÍFEROS ..	225
B.11. MUTAGENICIDADE — ENSAIO <i>IN VIVO</i> DE ABERRAÇÕES CROMOSSÓMICAS EM CÉLULAS DA MEDULA DE MAMÍFEROS	233
B.12. MUTAGENICIDADE — ENSAIO <i>IN VIVO</i> DOS MICRONÚCLEOS EM ERITRÓCITOS DE MAMÍFEROS	240
B.13/14. MUTAGENICIDADE — ENSAIO DE MUTAÇÃO REVERSA EM BACTÉRIAS	248
B.15. TESTES DE MUTAGÉNESE E DESPISTE DE CARCINOGÉNESE MUTAÇÃO GÉNICA — <i>SACCHAROMYCES CEREVISIAE</i>	256
B.16. RECOMBINAÇÃO MITÓTICA — <i>SACCHAROMYCES CEREVISIAE</i>	259
B.17. MUTAGENICIDADE — ENSAIO DE MUTAÇÃO GÉNICA EM CÉLULAS DE MAMÍFEROS <i>IN VITRO</i> ..	262
B.18. LESÃO E REPARAÇÃO DO ADN — SÍNTESE NÃO PROGRAMADA — CÉLULAS DE MAMÍFERO <i>IN VITRO</i>	271
B.19. TESTE <i>IN VITRO</i> DE TROCA ENTRE CROMÁTIDES DO MESMO CROMOSSOMA	275
B.20. TESTE DE LETALIDADE RECESSIVA LIGADA AO SEXO NA <i>DROSOPHILA MELANOGASTER</i>	279
B.21. TESTES DE TRANSFORMAÇÃO DE CÉLULAS DE MAMÍFERO <i>IN VITRO</i>	282
B.22. TESTE DE LETALIDADE DOMINANTE NO ROEDOR	285
B.23. ENSAIO DE ABERRAÇÕES CROMOSSÓMICAS EM ESPERMATOGÓNIAS DE MAMÍFERO	288
B.24. TESTE DAS MALHAS (SPOT-TEST) NO RATINHO	295

B.25.	TRANSLOCAÇÃO HEREDITÁRIA NO RATINHO	298
B.26.	ENSAIO DE TOXICIDADE ORAL SUBCRÓNICA ESTUDO DE TOXICIDADE ORAL DE DOSE REPETIDA EM ROEDORES COM A DURAÇÃO DE 90 DIAS	302
B.27.	ENSAIO DE TOXICIDADE ORAL SUBCRÓNICA ESTUDO DE TOXICIDADE ORAL DE DOSE REPETIDA EM ESPÉCIES NÃO ROEDORAS COM A DURAÇÃO DE 90 DIAS	308
B.28.	TOXICIDADE DÉRMICA SUBCRÓNICA: TESTE DE DOSE REPETIDA POR VIA DÉRMICA, A NOVENTA DIAS, EM ROEDORES	314
B.29.	TOXICIDADE SUBCRÓNICA POR INALAÇÃO: TESTE DE DOSE REPETIDA POR INALAÇÃO, A NOVENTA DIAS, EM ROEDORES	318
B.30.	TESTE DE TOXICIDADE CRÓNICA	323
B.31.	ESTUDO DE TOXICIDADE SOBRE O DESENVOLVIMENTO PRÉ-NATAL	329
B.32.	TESTE DE CARCINOGENÉSE	338
B.33.	TESTE COMBINADO DE TOXICIDADE CRÓNICA/CARCINOGENÉSE	344
B.34.	TESTE DE TOXICIDADE SOBRE A REPRODUÇÃO EM UMA GERAÇÃO	351
B.35.	ESTUDO DE TOXICIDADE SOBRE A REPRODUÇÃO EM DUAS GERAÇÕES	355
B.36.	TOXICOCINÉTICA	365
B.37.	NEUROTOXICIDADE RETARDADA DE SUBSTÂNCIAS ORGANOFOFORADAS POR EXPOSIÇÃO AGUDA	369
B.38.	NEUROTOXICIDADE RETARDADA DE SUBSTÂNCIAS ORGANOFOFORADAS POR ADMINISTRAÇÃO REPETIDA A 28 DIAS	374
B.39.	ENSAIO <i>IN VIVO</i> DA SÍNTESE NÃO PROGRAMADA (UDS) DE ADN EM CÉLULAS DO FÍGADO DE MAMÍFEROS	378
B.40.	CORROSÃO DA PELE <i>IN VITRO</i> : ENSAIO DA RESISTÊNCIA ELÉCTRICA TRANSCUTÂNEA (RET) ...	384
B.40.A.	CORROSÃO DA PELE <i>IN VITRO</i> : ENSAIO EM MODELOS DE PELE HUMANA	394
B.41.	ENSAIO DE FOTOTOXICIDADE <i>IN VITRO</i> 3T3 NRU	400
B.42.	SENSIBILIZAÇÃO DA PELE: ENSAIO DE GÂNGLIO LINFÁTICO LOCAL	414
B.43.	ESTUDO DE NEUROTOXICIDADE EM ROEDORES	420
B.44.	ABSORÇÃO CUTÂNEA: MÉTODO <i>IN VIVO</i>	432
B.45.	ABSORÇÃO CUTÂNEA: MÉTODO <i>IN VITRO</i>	438

INTRODUÇÃO GERAL

A. CARACTERIZAÇÃO DA SUBSTÂNCIA EM ESTUDO

Antes de iniciar qualquer estudo de toxicidade devem conhecer-se a composição da substância em estudo, incluindo as principais impurezas que contenha, e as propriedades físico-químicas mais importantes, nomeadamente a estabilidade.

As propriedades físico-químicas da substância fornecem informações de relevo para a escolha da via de administração e a concepção de cada estudo específico, bem como para o manuseamento e a armazenagem da substância.

O estudo deve ser precedido do desenvolvimento de um método analítico para a determinação qualitativa e quantitativa da substância em estudo (incluindo, sempre que possível, as principais impurezas) no meio de administração e no material biológico.

Devem incluir-se no relatório de ensaio todas as informações disponíveis referentes à identificação, às propriedades físico-químicas, à pureza e ao comportamento da substância em estudo.

B. CUIDADOS COM OS ANIMAIS

Nos estudos de toxicidade é fundamental efectuar um controlo estrito das condições ambientais e utilizar técnicas adequadas para o cuidado dos animais.

i) *Condições de alojamento*

As condições ambientais nos locais ou recintos destinados aos animais devem ser adequadas às espécies em estudo. Para ratos, ratinhos e cobaias, a temperatura do local deve ser de $22\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ e a humidade relativa de 30 % a 70 %; no que respeita aos coelhos, a temperatura ambiente deve ser de $20\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ e a humidade relativa de 30 % a 70 %.

Algumas técnicas experimentais são particularmente sensíveis aos efeitos da temperatura; em tais casos, a descrição do método de ensaio deve incluir pormenores relativos às condições adequadas. Em todos os ensaios de toxicidade, a temperatura e humidade devem ser controladas, registadas e referidas no relatório final.

A iluminação deve ser artificial, com uma alternância de 12 horas de luz e 12 horas de obscuridade. Os pormenores relativos à iluminação devem ser registados e incluídos no relatório final.

Salvo especificação em contrário, os animais devem ser alojados individualmente ou em pequenos grupos do mesmo sexo. Em caso de alojamento colectivo, não devem colocar-se mais de 5 animais numa gaiola.

Nos relatórios de experiências com animais, é conveniente indicar o tipo de gaiolas utilizadas e o número de animais alojados em cada gaiola, tanto durante o período de exposição à substância em estudo como durante o eventual período de observação subsequente.

ii) *Condições de alimentação*

A dieta deve satisfazer todos os requisitos nutricionais da espécie em estudo. No caso de as substâncias serem administradas aos animais na respectiva dieta, o valor nutricional da mesma pode ser reduzido pela interacção entre a substância e determinados constituintes da dieta. Essa possibilidade deve ser tida em conta na interpretação dos resultados dos ensaios. Podem utilizar-se dietas convencionais de laboratório, com um fornecimento ilimitado de água para beber. A escolha da dieta pode ser condicionada pela necessidade de assegurar a administração adequada da substância em estudo, caso se recorra a esta via.

Os eventuais contaminantes que influenciem a toxicidade não devem estar presentes em concentrações que possam interferir com os resultados.

C. ENSAIOS ALTERNATIVOS

A União Europeia está empenhada em promover a elaboração e validação de técnicas alternativas que forneçam a mesma quantidade de informações que os ensaios actuais em animais, mas que utilizem um número inferior de animais, lhes causem menor sofrimento ou evitem, de todo, o recurso aos mesmos.

Na caracterização dos riscos e consequente classificação e rotulagem dos produtos e para a avaliação da segurança química devem utilizar-se, sempre que possível, métodos deste tipo, à medida que se encontrem disponíveis.

D. **AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO**

Aquando da avaliação e interpretação dos ensaios devem ter-se em conta as limitações apresentadas pela extrapolação directa para o homem dos resultados obtidos em estudos com animais e *in vitro*, pelo que, para a confirmação dos referidos resultados, devem utilizar-se, sempre que se encontrem disponíveis, dados referentes a efeitos adversos no homem.

E. **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

A maioria dos métodos apresentados foram elaborados no âmbito do programa da OCDE das directrizes em matéria de ensaios, devendo os mesmos ser executados em conformidade com as boas práticas de laboratório, de modo a garantir, na medida do possível, o reconhecimento mútuo dos resultados.

Podem obter-se informações adicionais nas referências incluídas nas directrizes da OCDE, bem como em outras publicações no domínio em causa.

B.1.bis. TOXICIDADE ORAL AGUDA — PROCEDIMENTO DE DOSE FIXA

1. MÉTODO

O presente método é equivalente ao «Test Guideline» TG 420 da OCDE (2001).

1.1. INTRODUÇÃO

Os métodos tradicionais de avaliação de toxicidade aguda utilizam a morte dos animais como critério específico. Em 1984, foi sugerida pela British Toxicology Society uma nova abordagem ao ensaio da toxicidade aguda com base na administração de uma série de doses fixas (1). Esta abordagem evitava a utilização da morte dos animais como um critério específico. O novo método baseava-se na observação de sinais evidentes de toxicidade ocorrentes a determinado valor de uma série de doses fixas. Em 1992 e no seguimento dos estudos de validação *in vivo* efectuados tanto no Reino Unido (2) como internacionalmente (3), o procedimento foi adoptado como método de ensaio. Subsequentemente, as propriedades estatísticas do Procedimento de Dose Fixa foram avaliadas em vários estudos utilizando modelos matemáticos (4)(5)(6). Em conjunto, os estudos *in vivo* e de modelação mostraram que o procedimento é reprodutível, utiliza um menor número de animais e causa menor sofrimento do que os métodos tradicionais, permitindo classificar as substâncias de um modo semelhante a outros métodos de ensaio de toxicidade aguda.

No Documento de Orientação sobre Ensaio de Toxicidade Oral Aguda (7) podem consultar-se as orientações sobre a selecção do método de ensaio mais apropriado a determinado fim. Este Documento de Orientação contém igualmente informação adicional sobre o procedimento e interpretação do Método de Ensaio B.1.

Um dos princípios básicos do presente método consiste na utilização de doses moderadamente tóxicas no estudo principal, evitando a administração de doses previsivelmente letais. Além disso, não é necessário administrar doses para as quais se sabe previamente que causam dor e sofrimento óbvios, devido à sua acção corrosiva ou fortemente irritante. Os animais moribundos ou os animais que apresentam sinais óbvios de dor ou sofrimento grave e continuado devem ser sacrificados sem dor e, na interpretação dos resultados do ensaio, devem ser considerados do mesmo modo que os animais que morrem durante o ensaio. Os critérios sobre a decisão de sacrificar animais moribundos ou em sofrimento grave, bem como as orientações sobre a identificação de morte previsível ou iminente, estão incluídos separadamente num Documento de Orientação (8).

O presente método permite obter informação sobre a perigosidade e possibilita a graduação e classificação da substância em conformidade com o Sistema Harmonizado ao Nível Mundial (GHS) para a classificação de substâncias químicas que causam toxicidade aguda (9).

Antes de efectuar o estudo, o laboratório de ensaio deve ter em conta toda a informação disponível sobre a substância de ensaio. Esta informação incluirá a identificação e a estrutura química da substância, as suas propriedades físico-químicas, os resultados de quaisquer outros ensaios de toxicidade da substância *in vitro* ou *in vivo*, dados toxicológicos sobre substâncias estruturalmente semelhantes e a(s) utilização(ões) prevista(s) para a substância. Esta informação é necessária para satisfazer todos os envolvidos em relação à relevância do ensaio ao nível da protecção da saúde humana e será útil na determinação de uma dose inicial apropriada.

1.2. DEFINIÇÕES

Toxicidade oral aguda: refere-se ao conjunto de efeitos adversos que se manifestam após a administração oral de uma dose única da substância ou de várias doses num período de 24 horas.

Morte retardada: significa que o animal não morre nem aparenta estar moribundo num período de 48 horas, mas morre mais tarde, no decorrer do período de observação de 14 dias.

Dose: quantidade aplicada da substância de ensaio. O valor da dose é expresso em peso de substância de ensaio por unidade de peso do animal (mg/kg).

Toxicidade evidente: termo geral que descreve a ocorrência de sinais óbvios de toxicidade na sequência da administração da substância de ensaio [consultar os exemplos descritos em (3)] no qual a dose fixa mais elevada seguinte pode induzir, na maior parte dos animais, dor intensa, sinais persistentes de distúrbios graves, estado moribundo (os respectivos critérios são apresentados no Documento de Orientação de Critérios Específicos sem Dor (8) ou, provavelmente, mortalidade.

GHS: Sistema Harmonizado ao Nível Mundial (Globally Harmonised System) para a Classificação de Substâncias Químicas e Misturas. Trata-se de um trabalho conjunto da OCDE (saúde humana e ambiente), do Comité de Peritos em Transporte de Mercadorias Perigosas das Nações Unidas (propriedades físico-químicas) e da OIT (notificação de perigos) e coordenado pelo Programa Interorganizações para a Boa Gestão das Substâncias Químicas [Interorganisation Programme for the Sound Management of Chemicals (IOMC)].

Morte iminente: situação em que se prevê a ocorrência de estado moribundo ou morte antes da próxima observação planeada. Alguns dos sinais indicativos deste estado em roedores incluem convulsões, posição lateral, posição deitada e tremores. [Consultar o Documento de Orientação de Critérios Específicos sem Dor (8) para mais detalhes.]

DL₅₀ (Dose Letal Média): dose única, calculada estatisticamente, de uma substância susceptível de causar a morte de 50 % dos animais quando administrada por via oral. O valor da DL₅₀ é expresso em peso, de substância de ensaio, por unidade de peso do animal de ensaio (mg/kg).

Teste-limite: refere-se a uma dose com o valor limite superior admitido pelo ensaio (2 000 ou 5 000 mg/kg).

Estado moribundo: encontrar-se num estado de morte ou de incapacidade de sobrevivência, mesmo com tratamento. [Consultar o Documento de Orientação de Critérios Específicos sem Dor (8) para mais detalhes.]

Morte previsível: presença de sinais clínicos indicativos de ocorrência de morte em determinada altura (antes do final planeado da experiência, por exemplo): incapacidade de alcançar água ou comida. [Consultar o Documento de Orientação de Critérios Específicos sem Dor (8) para mais detalhes.]

1.3. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

São administradas doses gradualmente crescentes a grupos de animais do mesmo sexo, usando as doses fixas de 5, 50, 300 e 2 000 mg/kg (excepcionalmente pode utilizar-se uma dose fixa adicional de 5 000 mg/kg; consultar a secção 1.6.2). A dose inicial é escolhida com base num estudo preliminar de determinação de amplitude como a dose para qual é previsível obter alguns sinais de toxicidade sem causar efeitos tóxicos graves ou mortalidade. Os sinais clínicos e as condições associadas com dor, sofrimento e morte iminente, são descritos detalhadamente num Documento de Orientações da OCDE separado (8). Outros grupos de animais poderão ser sujeitos a dosagens, com doses fixas superiores ou inferiores, consoante a presença ou ausência de sinais de toxicidade ou mortalidade. Repete-se este procedimento até identificação da dose que causa toxicidade evidente ou que provoque uma e apenas uma morte ou até à dose mais elevada no caso de não serem observados quaisquer efeitos. O procedimento é imediatamente interrompido no caso de se registarem mortes à dose mais baixa.

1.4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.4.1. Selecção de espécies animais

A espécie preferida para ensaio é o rato, mas podem ser utilizadas outras espécies de roedores. Normalmente, utilizam-se fêmeas (7). Tal escolha deve-se ao facto de uma análise da literatura científica relativa aos ensaios convencionais de DL₅₀ revelar que, habitualmente, a diferença de sensibilidade entre os sexos é pequena e, nos casos em que são observadas diferenças, as fêmeas são, de um modo geral, ligeiramente mais sensíveis (10). No entanto, devem utilizar-se machos caso as propriedades toxicológicas ou tóxico-cinéticas descritas para substâncias químicas estruturalmente semelhantes indicarem que estes podem revelar maior sensibilidade. Quando o ensaio é efectuado com machos, deve ser apresentada uma justificação adequada.

Devem ser utilizados animais adultos, jovens e saudáveis e pertencentes a estirpes laboratoriais de uso corrente. As fêmeas devem ser nulas e não grávidas. No início da administração das doses, todos os animais devem ter idades compreendidas entre as 8 e as 12 semanas e um peso compreendido no intervalo de $\pm 20\%$ do peso médio dos animais aos quais foram anteriormente administradas doses.

1.4.2. Condições de alojamento e alimentação

A temperatura do compartimento experimental dos animais deve ser de 22 °C ($\pm 3^\circ\text{C}$). A humidade relativa deverá ser 50-60 %, embora sejam aceitáveis valores entre um mínimo de 30 % e um máximo que, de preferência, não deverá exceder 70 %, salvo durante os períodos de limpeza do compartimento. A iluminação deve ser artificial, com sequências de 12 horas de luz e 12 horas de escuridão. A alimentação pode basear-se em dietas de laboratório convencionais, com fornecimento ilimitado de água para beber. Os animais aos quais é administrada a mesma dose, podem ser agrupados na mesma gaiola desde que, o número de animais em cada gaiola não impeça a observação clara de cada um deles.

1.4.3. Preparação dos animais

Os animais são escolhidos ao acaso, marcados de modo a permitir uma identificação individualizada e mantidos nas suas gaiolas durante, pelo menos, cinco dias antes do início da administração das doses de modo a permitir que se aclimatem às condições laboratoriais.

1.4.4. Preparação das doses

De um modo geral, as substâncias de ensaio devem ser administradas num volume constante ao longo de toda a gama de doses a ensaiar através da variação da concentração na preparação da dose. No entanto, para o caso do ensaio de um produto ou de uma mistura no estado líquido, pode ser mais relevante para a avaliação de risco subsequente a utilização da substância de ensaio sem qualquer diluição, ou seja, a concentração constante, sendo este um requisito apresentado por algumas autoridades competentes. Em qualquer dos casos, não deve ser excedido o volume máximo da dose a ser administrada. O volume máximo de líquido que pode ser

administrado de cada vez depende do tamanho do animal de ensaio. No caso de roedores, em condições normais o volume não deve exceder 1 ml/100 g de peso corporal. Para soluções aquosas, contudo, pode ser considerada a dose de 2 ml/100 g de peso corporal. Recomenda-se que, sempre que possível, seja considerada em primeiro lugar a utilização de uma solução/suspensão/emulsão aquosa; caso tal não seja viável, pode considerar-se o uso de uma solução/suspensão/emulsão em óleo (por exemplo, óleo de milho); em última instância, poderá eventualmente recorrer-se ao uso de soluções noutros excipientes. Devem conhecer-se as características tóxicas dos excipientes que não sejam a água. As doses devem ser preparadas pouco tempo antes da sua administração, a menos que a estabilidade da preparação ao longo do período de utilização seja conhecida e tenha sido considerada aceitável.

1.5. PROCEDIMENTO

1.5.1. Administração de doses

A administração deve ser feita numa toma única, por sonda esofágica, usando tubo estomacal ou cânula de intubação apropriada. Nos casos raros em que não é possível a administração de uma toma única, a dose pode ser administrada em fracções menores ao longo de um período não superior a 24 horas.

Os animais devem ser sujeitos a jejum antes da administração das doses (por exemplo, no caso de ratos, não deve dar-se comida durante a noite, mas deve manter-se o fornecimento de água; no caso de ratinhos, a comida deve ser suspensa durante 3-4 horas e deve ser mantido o fornecimento de água). Após o período de jejum, os animais devem ser pesados e deve ser administrada a substância de ensaio. Após a administração da substância, pode evitar dar-se comida durante 3-4 horas para ratos e 1-2 horas para ratinhos. Nos casos de administração fraccionada da dose durante um certo lapso de tempo, pode ser necessário dar comida e água aos animais consoante a duração do período de administração.

1.5.2. Estudo de determinação de amplitude

O objectivo do estudo de determinação de amplitude consiste em seleccionar a dose inicial apropriada para o estudo principal. A substância de ensaio é administrada a um único animal de uma forma sequencial segundo os fluxogramas do anexo 1. O estudo de determinação de amplitude termina quando se pode seleccionar a dose inicial para o estudo principal (ou se for registada uma morte à dose fixa mais baixa).

Para o estudo de determinação de amplitude, a dose inicial é seleccionada de entre as doses fixas de 5, 50, 300 e 2 000 mg/kg, como sendo a dose que se prevê poder causar toxicidade evidente com base, se possível, nas evidências de dados *in vivo* e *in vitro* da mesma substância química ou de substâncias químicas estruturalmente semelhantes. Na ausência de tal informação, a dose inicial será de 300 mg/kg.

O intervalo de aplicação de doses a cada animal será de, pelo menos, 24 horas. Todos os animais devem ser observados durante um período de, pelo menos, 14 dias.

Excepcionalmente e apenas quando justificado por necessidades regulamentares específicas, pode ser considerada a utilização de uma dose fixa superior adicional de 5 000 mg/kg (consultar o Anexo 3). Por razões de protecção dos animais, é desencorajado o ensaio de animais na Categoria 5 do SHG (2 000-5 000 mg/kg). Esta dose só deve ser considerada quando existe uma elevada probabilidade dos resultados deste ensaio terem relevância directa na protecção dos animais, da saúde humana ou do ambiente.

Nos casos em que o animal de ensaio morre no estudo de determinação de amplitude quando se aplica a dose fixa mais baixa (5 mg/kg), o procedimento normal consiste em terminar o estudo e classificar a substância na Categoria 1 do GHS (tal como se indica no Anexo 1). No entanto, se for necessária uma confirmação adicional, pode ser efectuado um procedimento experimental suplementar, tal como se descreve seguidamente. Aplica-se uma dose de 5 mg/kg a um segundo animal. Se o segundo animal morrer confirma-se a Categoria 1 do GHS e o estudo é imediatamente terminado. Se o segundo animal sobreviver, será então administrada a dose de 5 mg/kg a um máximo de mais três animais. Dado que neste caso o risco de mortalidade é elevado, a administração das doses a estes animais deve ser feita de um modo sequencial, de modo a proteger os animais. O intervalo, entre a aplicação da dose a cada um dos animais, deve ser suficiente para assegurar a provável sobrevivência do animal anterior. Se ocorrer uma segunda morte, a sequência de aplicação da dose será terminada imediatamente e não serão ensaiados mais animais. Dado que, a ocorrência de uma segunda morte (independentemente do número de animais ensaiados até ao final do estudo) é classificável no resultado A (duas ou mais mortes), segue-se a regra de classificação do Anexo 2 para a dose fixa de 5 mg/kg (Categoria 1, se ocorrerem duas ou mais mortes, ou Categoria 2, se não ocorrer mais do que uma morte). Além disso, apresentam-se no Anexo 4 as orientações sobre a classificação segundo o sistema da UE, válido até à implementação do novo GHS.

1.5.3. **Estudo principal**

1.5.3.1. *Número de animais e doses*

No Anexo 2 apresentam-se os procedimentos a seguir após o ensaio com a dose inicial. É necessário proceder de uma das três formas seguintes: terminar os ensaios e classificar a substância na classe de perigosidade apropriada, prosseguir os ensaios como uma dose fixa superior, ou prosseguir os ensaios com uma dose fixa inferior. No entanto, por uma questão de protecção dos animais, a dose que causou morte, no estudo de determinação de amplitude, não deve ser repetida no estudo principal (consultar Anexo 2). A experiência prévia é indicativa de que o resultado mais provável da dose inicial será a possibilidade de classificação da substância, o que torna desnecessários quaisquer ensaios adicionais.

Será normalmente utilizado um total de cinco animais do mesmo sexo para cada dose investigada. O grupo de cinco animais será constituído por um animal do estudo prévio, ao qual foi administrada a dose seleccionada e de quatro outros animais (excepto, em casos raros, se a dose utilizada no estudo principal não tiver sido incluída no estudo de determinação de amplitude).

O intervalo de tempo entre a aplicação de doses em cada nível é determinado pelo aparecimento, duração e gravidade dos sinais de toxicidade. O tratamento dos animais com a dose seguinte deve ser adiado até ser possível estabelecer com segurança a sobrevivência dos animais previamente tratados. Recomenda-se um período de 3 ou 4 dias entre a administração das doses para cada nível de dosagem, se necessário, de modo a permitir a detecção de efeitos tóxicos retardados. O intervalo de tempo pode ser ajustado se necessário, por exemplo, em caso de resposta inconclusiva.

No caso de se considerar a utilização da dose fixa máxima de 5 000 mg/kg, deve proceder-se em conformidade com o procedimento descrito no Anexo 3. (Consultar igualmente a secção 1.6.2.)

1.5.3.2. *Teste-limite*

O teste-limite é utilizado, essencialmente, em situações nas quais o analista tem informação indicativa de o material de ensaio não ser provavelmente tóxico, ou seja, só apresenta toxicidade acima das doses-limite regulamentadas. A informação sobre a toxicidade do material de ensaio pode ser obtida a partir de ensaios em compostos semelhantes ou de ensaios de misturas ou produtos semelhantes, tendo em consideração a identificação e percentagem dos componentes cuja relevância toxicológica é conhecida. Nos casos em que a informação sobre a toxicidade do material de ensaio é limitada ou inexistente, ou nos casos em que é previsível que o material a ensaiar seja tóxico, deve ser efectuado o estudo principal.

Usando o procedimento normal para este ensaio, o teste-limite pode ser efectuado graças a um estudo de determinação de amplitude com uma dose inicial de 2 000 mg/kg (ou, excepcionalmente, de 5 000 mg/kg), seguido da administração da dose a mais quatro animais.

1.6. **OBSERVAÇÕES**

Após a aplicação da dose, os animais devem ser observados individualmente pelo menos uma vez durante os primeiros 30 minutos e periodicamente durante as primeiras 24 horas, com especial cuidado nas primeiras quatro horas. Seguidamente, é necessário observar os animais diariamente durante um período de 14 dias, excepto se for necessário retirá-los do estudo e sacrificá-los, sem dor, por motivo do bem-estar dos animais, ou se forem encontrados mortos. No entanto, a duração do período de observação não deve ser estabelecida de uma forma rígida, mas determinada com base nas reacções de toxicidade, velocidade de recuperação e momento em que os sinais de toxicidade aparecem e desaparecem são importantes, sobretudo se os sinais de toxicidade tendem a aparecer de uma forma retardada (11). Todas as observações são registadas sistematicamente, mantendo-se uma ficha individual para cada animal.

Serão necessárias observações adicionais se os animais continuarem a apresentar sinais de toxicidade. As observações devem incluir alterações na pele e pêlos, olhos e membranas mucosas, aparelho respiratório, aparelho circulatório, sistema nervoso autónomo e central, assim como da actividade somatomotora e comportamental. Devem ser observados com especial atenção os tremores, convulsões, salivação, diarreia, letargia, sono e coma. Devem ser tomados em consideração os princípios e critérios resumidos no Documento de Orientação de Critérios Específicos sem Dor (8). Os animais que forem encontrados em estado moribundo e os animais que apresentarem dores violentas ou sinais de sofrimento grave e continuado devem ser sacrificados sem dor. Quando os animais forem sacrificados a fim de evitar dor ou se forem encontrados mortos, deve ser registado o momento da morte com o maior rigor possível.

1.6.1. **Peso corporal**

O peso individual dos animais deve ser determinado pouco antes da administração da substância de ensaio e, seguidamente, pelo menos uma vez por semana. Devem ser calculadas e registadas todas as variações de peso. No final do ensaio, os animais sobreviventes são pesados e, seguidamente, sacrificados sem dor.

1.6.2. Patologia

Todos os animais de ensaio (incluindo os que morreram durante o ensaio ou que foram retirados do ensaio por motivos de preservação do seu bem-estar) devem ser sujeitos a uma autópsia pouco pormenorizada. Devem ser registadas as alterações patológicas principais observadas em cada animal. Deve também ser considerada a realização de um exame microscópico dos órgãos que mostrem sinais de patologia grave em animais que sobreviveram, no mínimo, durante 24 horas após a aplicação da dose inicial, já que este exame pode fornecer informação útil.

2. DADOS

Devem ser apresentados os dados individuais para cada animal. Adicionalmente, todos os dados devem ser resumidos em forma tabular, mostrando, para cada grupo de ensaio, o número de animais utilizado, o número de animais que apresentaram sinais de toxicidade, o número de animais que foram encontrados mortos durante o ensaio ou que foram sacrificados a fim de evitar dor, o momento da morte de cada um dos animais, a descrição e evolução temporal dos efeitos de toxicidade e sua reversibilidade, assim como os resultados da autópsia.

3. RELATÓRIO**3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO**

O relatório do ensaio deverá incluir as seguintes informações:

Substância de ensaio:

- natureza física, pureza e propriedades físico-químicas relevantes (incluindo isomerização);
- dados relativos à identificação química, incluindo número CAS.

Excipiente (se apropriado):

- caso o excipiente não seja água, uma justificação para a sua escolha.

Animais de ensaio:

- espécie/estirpe usada;
- estado microbiológico do animal, caso seja conhecido;
- número, idade e sexo dos animais (incluindo, quando necessário, uma justificação para o uso de machos em vez de fêmeas);
- proveniência, condições de alojamento, dieta, etc.

Condições do ensaio:

- informação pormenorizada sobre a formulação da substância de ensaio, incluindo informação detalhada sobre a forma física do material administrado;
- informação pormenorizada sobre a administração da substância de ensaio, incluindo volume das doses e momento de aplicação;
- informação pormenorizada sobre a qualidade dos alimentos e da água (incluindo tipo e origem da dieta e origem da água);
- justificação para a escolha da dose inicial.

Resultados:

- tabela dos dados de resposta e da dose para cada animal (ou seja, animais que apresentaram sinais de toxicidade, incluindo mortalidade, natureza, gravidade e duração dos efeitos);

- tabela com indicação do peso corporal e suas variações;
- pesos individuais de animais no dia em que é aplicada a dose, uma vez por semana no restante período e na altura da sua morte ou sacrifício;
- data e momento da morte, no caso de ocorrência de morte antes do sacrifício previsto;
- evolução temporal do aparecimento de sintomas de toxicidade e sua reversibilidade, para cada animal;
- resultados da autópsia e resultados histopatológicos para cada animal, caso se encontrem disponíveis.

Análise dos resultados.

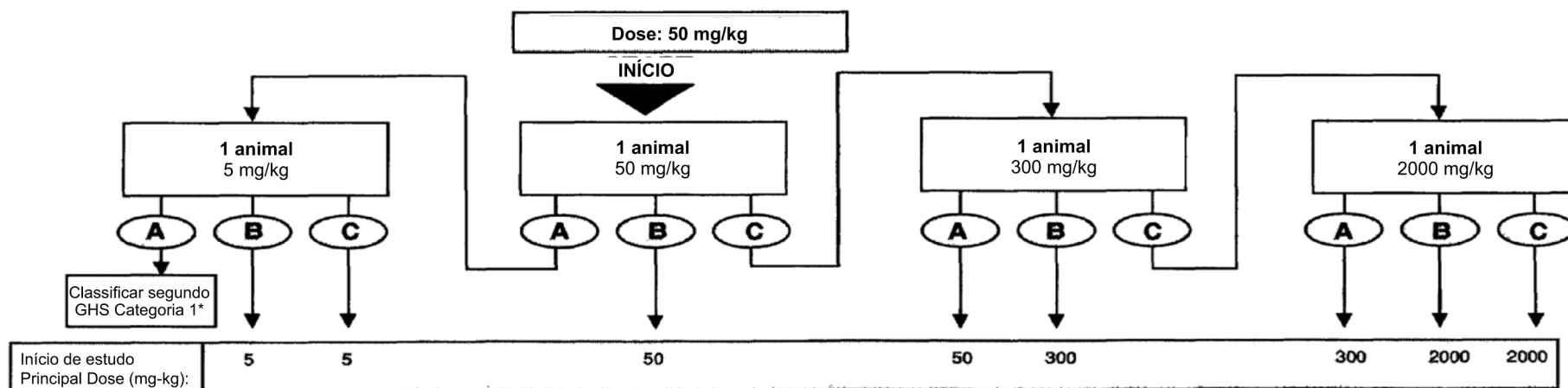
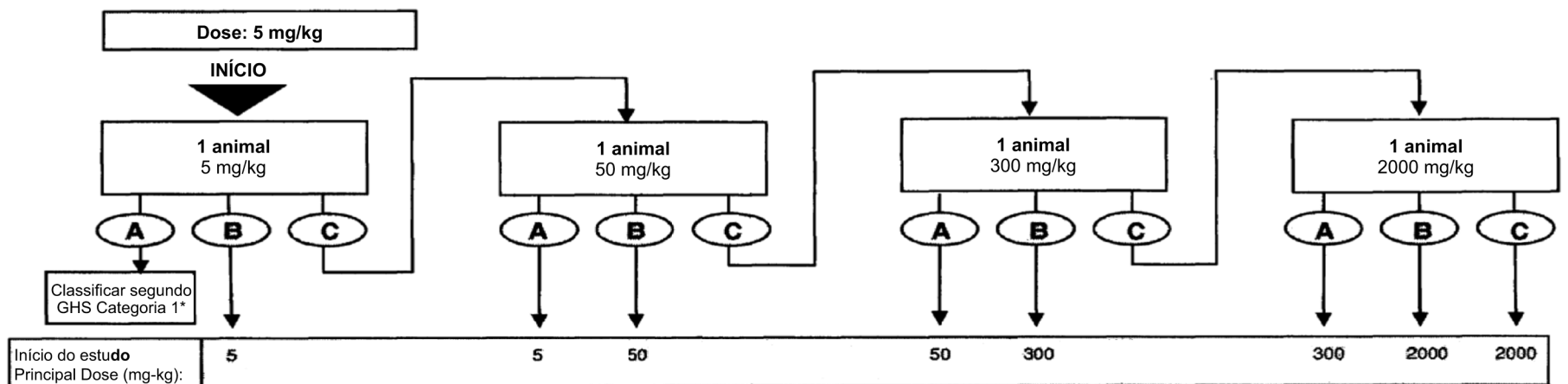
Conclusões.

4. REFERÊNCIAS

- (1) British Toxicology Society Working Party on Toxicity (1984). Special report: a new approach to the classification of substances and preparations on the basis of their acute toxicity. *Biometrics*, 20, 385.
- (2) Van den Heuvel, M.J., Dayan, A.D. e Shillaker, R.O. (1987). Evaluation of the BTS approach to the testing of substances and preparations for their acute toxicity. *Human Toxicol.*, 6, p. 279-291.
- (3) Van den Heuvel, M.J., Clark, D.G., Fielder, R.J., Koundakjian, P.P., Oliver, G.J.A., Pelling, D., Tomlinson, N.J. e Walker, A.P. (1990). The international validation of a fixed-dose procedure as an alternative to the classical LD₅₀ test. *Fd. Chem. Toxicol.* 28, p. 469-482.
- (4) Whitehead, A. e Curnow, R.N. (1992). Statistical evaluation of the fixed-dose procedure. *Fd. Chem. Toxicol.*, 30, p. 313-324.
- (5) Stallard, N. e Whitehead, A. (1995). Reducing numbers in the fixed-dose procedure. *Human Exptl. Toxicol.*, 14, p. 315- 323.
- (6) Stallard, N., Whitehead, A. and Ridgeway, P. (2002). Statistical evaluation of the revised fixed dose procedure.-Hum. Exp. Toxicol., 21, p. 183-196.
- (7) OECD (2001). Guidance Document on Acute Oral Toxicity Testing. Environmental Health and Safety Monograph Series on Testing and Assessment N. 24. Paris.
- (8) OECD (2000). Guidance Document on the Recognition, Assessment and Use of Clinical Signs as Humane Endpoints for Experimental Animals Used in Safety Evaluation. Environmental Health and Safety Monograph Series on Testing and Assessment N. 19.
- (9) OECD (1998). Harmonised Integrated Hazard Classification for Human Health and Environmental Effects of Chemical Substances as endorsed by the 28th Joint Meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals in November 1998, Part 2, p. 11 [<http://webnet1.oecd.org/oecd/pages/home/displaygeneral/0,3380,EN-documents-521-14-no-24-no-0,FF.html>].
- (10) Lipnick, R.L., Cotruvo, J.A., Hill, R.N., Bruce, R.D., Stitzel, K.A., Walker, A.P., Chu, I., Goddard, M., Segai, L., Springer, J.A. e Myers, R.C. (1995). Comparison of the Up-and-Down, Conventional LD₅₀, and Fixed-Dose Acute Toxicity Procedures. *Fd. Chem. Toxicol.*, 33, p. 223-231.
- (11) Chan P.K e A.W. Hayes (1994), Chapter 16 Acute Toxicity and Eye Irritation . Em: *Principles and Methods of Toxicology*, 3^a Edição. A.W. Hayes, Editor. Raven Press, Ltd, New York, USA.

ANEXO 1

FLUXOGRAMA PARA O ESTUDO DE DETERMINAÇÃO DE AMPLITUDE



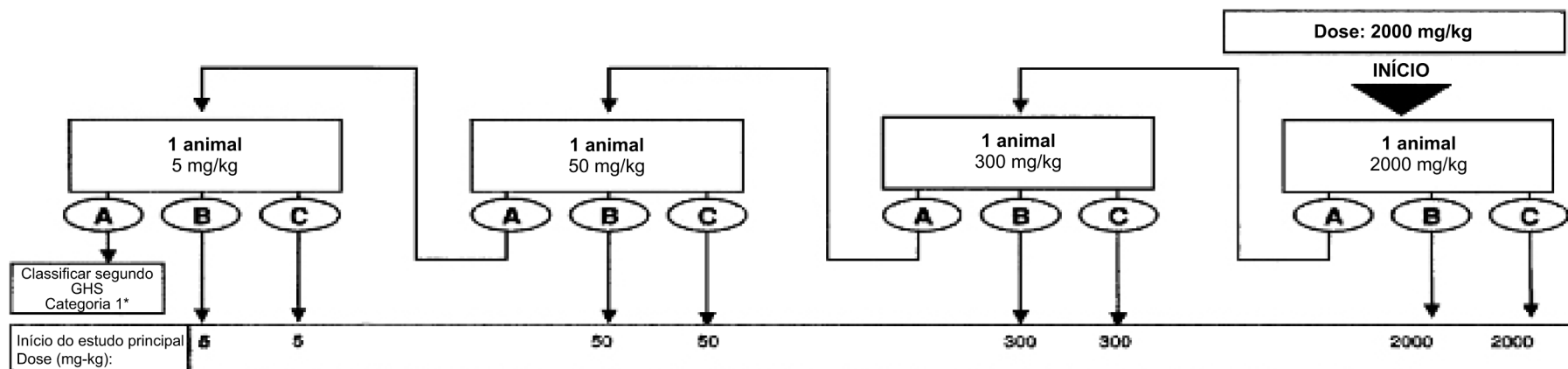
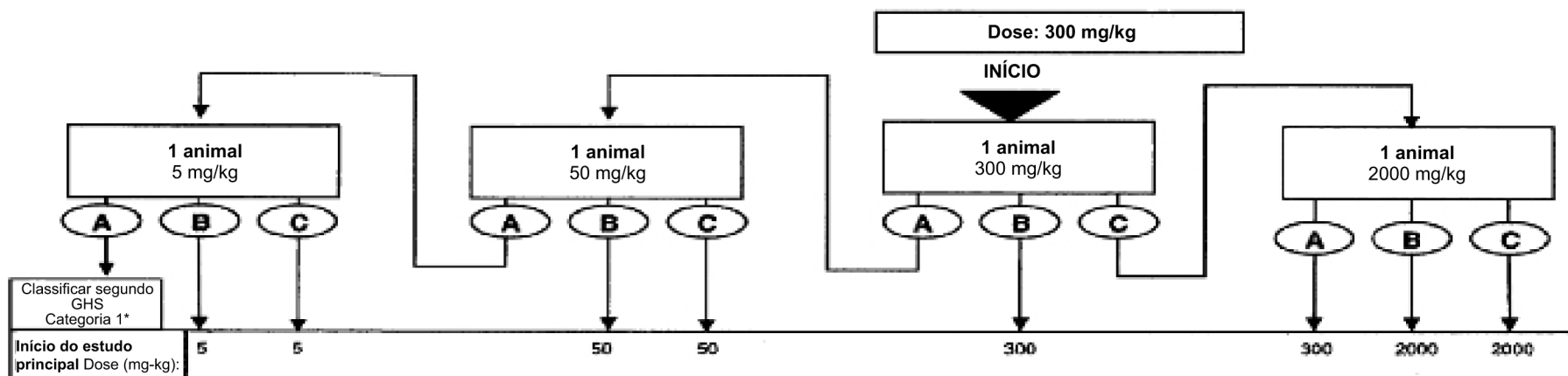
Resultado

A morte

B toxicidade evidente

C sem toxicidade evidente nem morte

* para o resultado **A** a 5 mg/kg, existe um procedimento opcional suplementar para confirmar a classificação GHS: consultar a secção 1.5.2



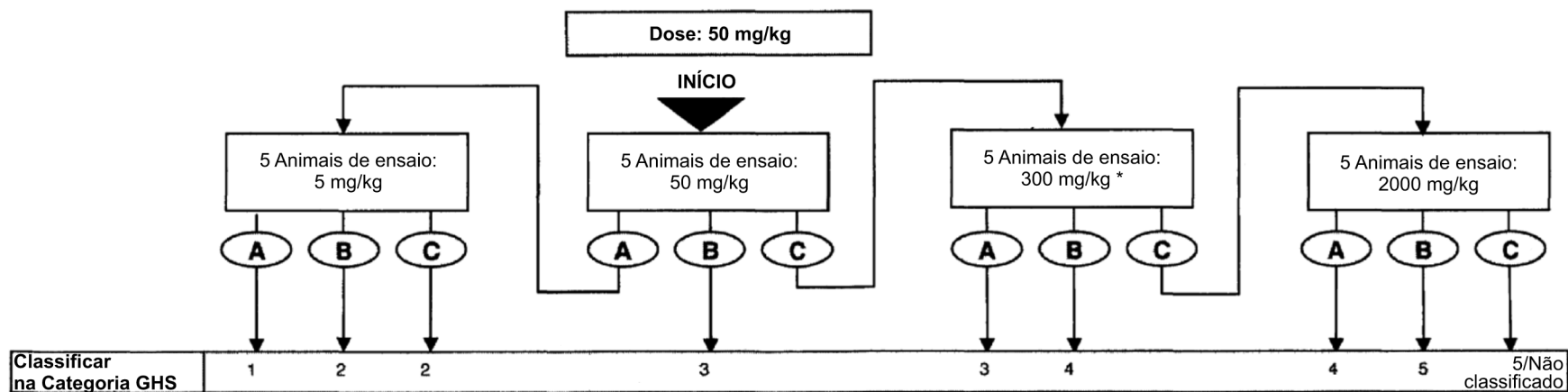
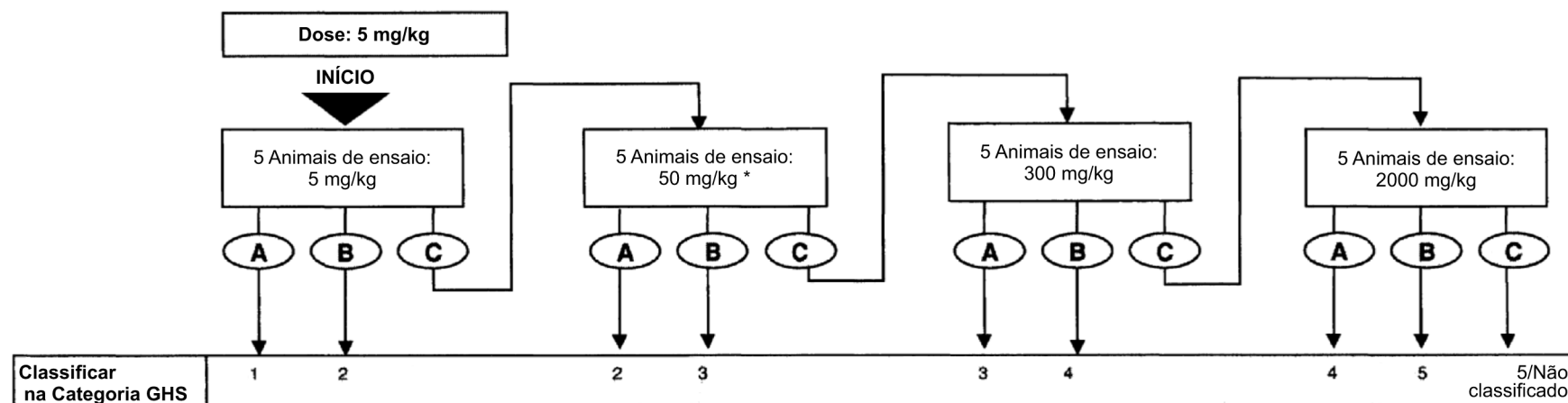
Resultados

- A** morte
- B** toxicidade evidente
- C** sem toxicidade evidente nem morte

* para o resultado **A** a 5 mg/kg, existe um procedimento opcional suplementar para confirmar a classificação GHS: consultar a secção 1.5.2.

ANEXO 2

FLUXOGRAMA PARA O ESTUDO PRINCIPAL

Resultado

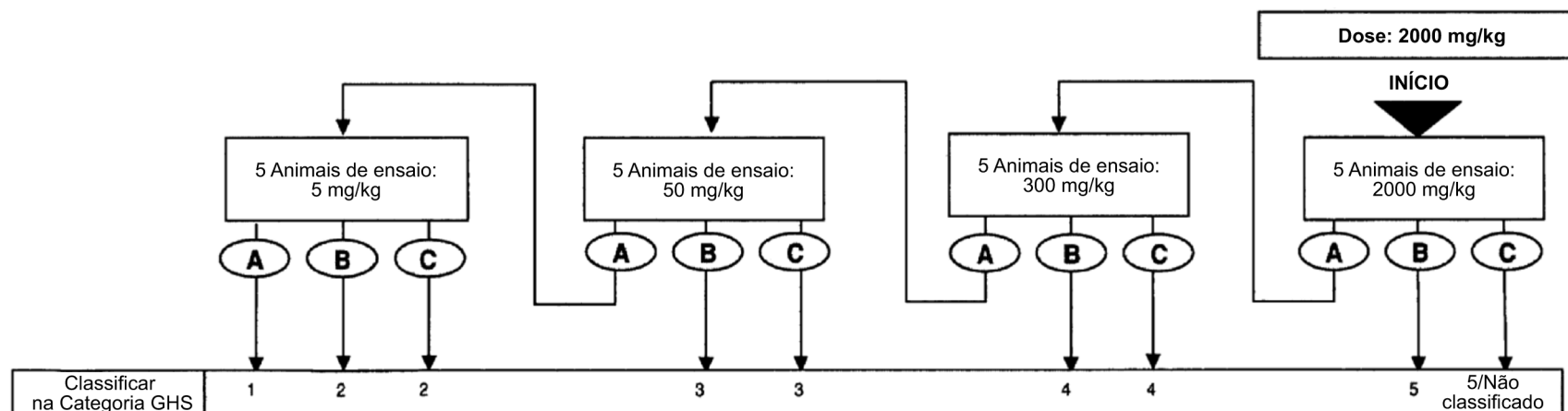
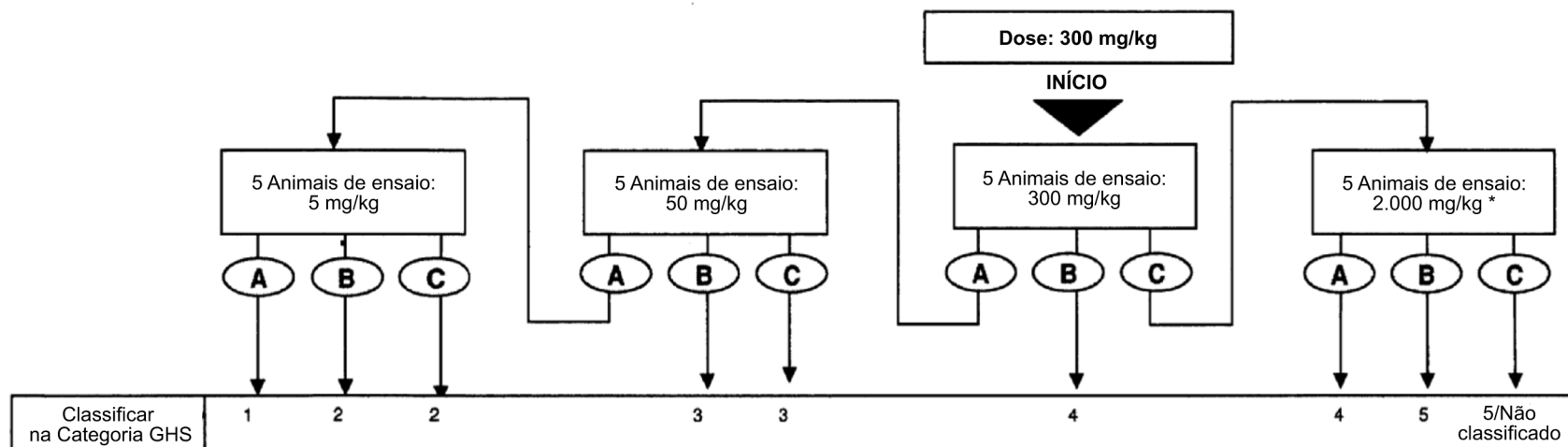
- A** ≥ 2 mortes
- B** ≥ 1 com toxicidade evidente e/ou 1 morte
- C** Sem toxicidade evidente nem morte

Tamanho do grupo

Os 5 animais em cada grupo do estudo principal incluirão qualquer um dos animais ensaiados a essa dose no estudo de determinação de amplitude

* Interrupção devido ao bem-estar dos animais

Se esta dose causou a morte no estudo de determinação de amplitude, não devem ser ensaiados mais animais. Vá directamente para o resultado **A**

**Resultado**

- A** ≥ 2 mortes
- B** ≥ 1 com toxicidade evidente e/ou 1 morte
- C** Sem toxicidade evidente nem morte

Tamanho do grupo

Os 5 animais em cada grupo do estudo principal incluirão qualquer um dos animais ensaiados a essa dose no estudo de determinação de amplitude

*** Interrupção devido ao bem-estar dos animais**

Se esta dose causou a morte no estudo de determinação de amplitude, não devem ser ensaiados mais animais. Vá directamente para o resultado **A**

ANEXO 3

CRITÉRIOS PARA A CLASSIFICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS DE ENSAIO COM VALORES PREVISÍVEIS DE DL₅₀ SUPERIORES A 2 000 MG/KG PARA AS QUAIS NÃO É NECESSÁRIO EFECTUAR ENSAIO

Os critérios para a Categoria 5 de perigosidade destinam-se a permitir a identificação de substâncias de ensaio que representam um perigo de toxicidade aguda relativamente baixo, mas que, em certas circunstâncias, podem representar perigo para populações vulneráveis. É previsível que estas substâncias apresentem valores de DL₅₀ orais ou dérmicos na gama de 2 000-5 000 mg/kg ou dose equivalente para outras vias. As substâncias de ensaio podem ser classificadas na categoria de perigosidade definida por: 2 000 mg/kg < DL₅₀ < 5 000 mg/kg (Categoria 5 do GHS) nos seguintes casos:

- a) se classificadas nesta categoria por qualquer dos esquemas de ensaio do anexo 2, baseados nas incidências de mortalidade;
- b) se houver prova fiável indicativa de que os valores de DL₅₀ se encontram na gama correspondente à Categoria 5 ou se outros estudos em animais ou sobre efeitos de toxicidade em seres humanos forem indicativos de preocupação acentuada em relação à salvaguarda da saúde humana;
- c) através de extrapolação, estimativa ou medição de dados, desde que não seja garantida a atribuição a uma classe mais perigosa, e
 - quando existe informação fiável indicativa de efeitos de toxicidade significativos em seres humanos, ou
 - quando não é registada mortalidade nos ensaios por via oral até doses correspondentes aos valores para a Categoria 4, ou
 - quando os especialistas são da opinião de que não se verificam sintomas clínicos de toxicidade significativos para ensaios até doses com valores correspondentes à Categoria 4, com excepção de diarreia, errecção pilosa ou má aparência, ou
 - nos casos em que os especialistas confirmem a existência de informação fiável, proveniente de outros estudos com animais, indicativa da existência de potenciais efeitos agudos significativos.

ENSAIOS COM DOSES SUPERIORES A 2 000 MG/KG

Apenas pode ser considerada a utilização de uma dose fixa superior adicional de 5 000 mg/kg em casos excepcionais e justificados por necessidades específicas legais. Devido ao reconhecimento da necessidade de proteger o bem-estar dos animais, os ensaios com doses de 5 000 mg/kg são desencorajados e só devem ser considerados no caso de ser muito provável que os resultados desse ensaio tenham especial relevância para a protecção animal ou da saúde humana (9).

Estudo de determinação de amplitude

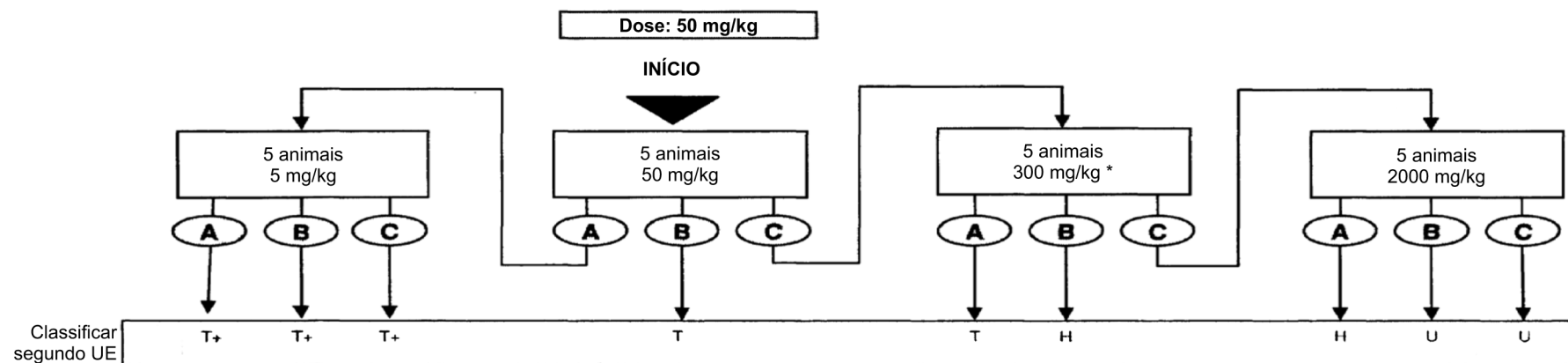
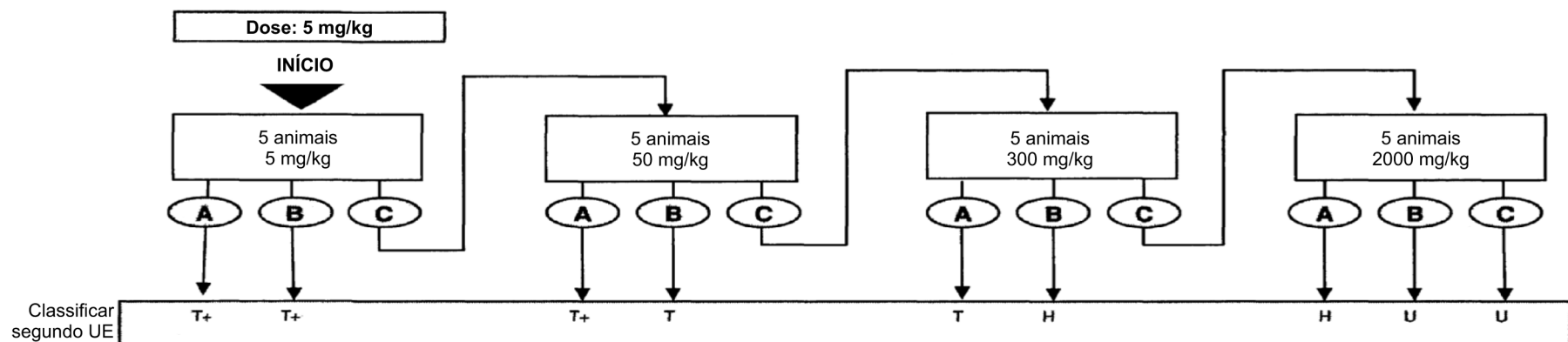
As regras de decisão para o procedimento sequencial apresentado no anexo 1 serão aplicadas ao ensaio com dose de 5 000 mg/kg. Assim, quando se utiliza uma dose de 5 000 mg/kg no estudo de determinação de amplitude, o resultado A (morte) requer o ensaio com um segundo animal com uma dose de 2 000 mg/kg. Os resultados B e C (toxicidade evidente ou sem toxicidade) permitem a selecção da dose de 5 000 mg/kg, como dose inicial do estudo principal. De igual modo, para uma dose inicial diferente de 5 000 mg/kg, o ensaio é realizado até à dose de 5 000 mg/kg se o resultado da dose de 2 000 mg/kg for B ou C. No caso de se obter um resultado A na subsequente dose de 5 000 mg/kg, a dose inicial do estudo principal deverá ser 2 000 mg/kg, enquanto para resultados B ou C deve utilizar-se uma dose inicial de 5 000 mg/kg no estudo principal.

Estudo principal

As regras de decisão para o procedimento sequencial apresentado no anexo 2 serão aplicadas ao ensaio com dose de 5 000 mg/kg. Assim, quando se utiliza uma dose de 5 000 mg/kg no estudo principal, o resultado A (> duas mortes) requer o ensaio com um segundo grupo, com uma dose de 2 000 mg/kg. Os resultados B (toxicidade evidente e/ou < uma morte) ou C (sem toxicidade) não permitem a classificação da substância em conformidade com o GHS. De igual modo, para uma dose inicial diferente de 5 000 mg/kg, o ensaio é realizado até à dose de 5 000 mg/kg se o resultado da dose de 2 000 mg/kg for C. No caso de se obter um resultado A na subsequente dose de 5 000 mg/kg, a substância será classificada na Categoria 5 do GHS, enquanto um resultado B ou C permite a classificação da substância.

MÉTODO DE ENSAIO B.1 bis

Orientações sobre a classificação em conformidade com o esquema transitório da UE, válido até à implementação total do Sistema de Classificação Harmonizado a Nível Mundial (GHS) (obtido da referência (8))

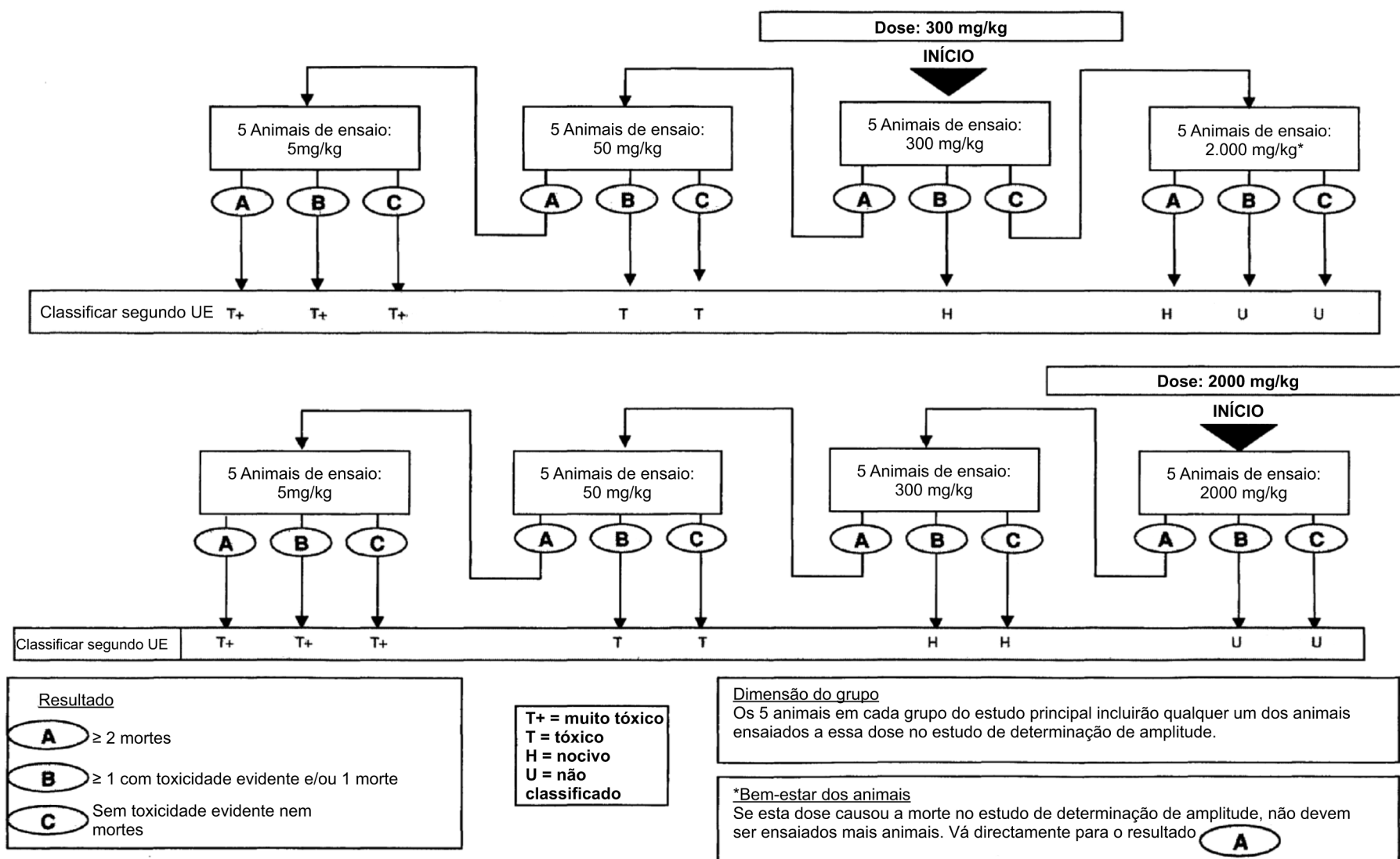
**Resultado**

- A** ≥ 2 mortes
- B** ≥ 1 com toxicidade evidente e/ou 1 morte
- C** Sem toxicidade evidente nem mortes

T+ = muito tóxico
T = tóxico
H = nocivo
U = não classificado

* Bem-estar animal. Se esta dose causou morte no estudo de determinação de amplitude, não devem ser ensaiados mais animais. Vá directamente para o resultado **A**

Dimensão do grupo Os 5 animais em cada grupo do estudo principal incluirão qualquer um dos animais ensaiados a essa dose no estudo de determinação de amplitude.



B.1.tris. TOXICIDADE ORAL AGUDA — MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO DE TOXICIDADE AGUDA

1. MÉTODO

O presente método é equivalente ao «Test Guideline» TG 423 da OCDE (2001)

1.1. INTRODUÇÃO

O método de classificação de toxicidade aguda (1) estabelecido no presente ensaio é um procedimento gradual que utiliza três animais do mesmo sexo por etapa. Em média, consoante a mortalidade e/ou o estado moribundo dos animais, são necessárias 2-4 etapas para avaliar a toxicidade aguda da substância de ensaio. O presente procedimento é reprodutível, utiliza uma quantidade muito limitada de animais e permite classificar as substâncias de um modo semelhante a outros métodos de ensaio de toxicidade aguda. O método de classificação de toxicidade aguda baseia-se na avaliação biométrica (2) (3) (4) (5) com doses fixas, separadas apropriadamente de modo a permitir a avaliação da substância para fins de classificação e avaliação de perigosidade. O método, adoptado inicialmente em 1996, foi amplamente validado *in vivo* relativamente aos dados de DL_{50} publicados na literatura nacional (6) e internacional (7).

No Documento de Orientação sobre Ensaios de Toxicidade Oral Aguda (8) podem consultar-se as orientações sobre a selecção do método de ensaio mais apropriado a determinado fim. Este Documento de Orientação contém igualmente informação adicional sobre o procedimento e interpretação do Método de Ensaio B.1.tris.

No presente método de ensaio não é necessário administrar doses de substâncias de ensaio, que comprovadamente causam dor e sofrimento óbvios, devido à sua acção corrosiva ou gravemente irritante. Os animais moribundos ou que apresentam sinais óbvios de dor ou sofrimento grave e continuado devem ser sacrificados sem dor e, na interpretação dos resultados do ensaio, considerados do mesmo modo que os animais que morrem durante o ensaio. Os critérios sobre a decisão de sacrificar animais moribundos ou em sofrimento, bem como as orientações sobre o reconhecimento de morte previsível ou iminente, estão incluídos separadamente num Documento de Orientação (9).

O presente método utiliza doses estabelecidas previamente e os resultados permitem classificar a substância em conformidade com o Sistema Harmonizado ao Nível Mundial (GHS) para a classificação de substâncias químicas que causam toxicidade aguda (10).

Em princípio, o método não se destina a calcular rigorosamente os valores de DL_{50} , mas permite a determinação de gamas de exposição definidas, nas quais é expectável a ocorrência de mortes, dado que um dos principais critérios específicos do ensaio é a morte de uma dada proporção de animais. O método permite determinar valores de DL_{50} somente quando, pelo menos, duas das doses utilizadas resultam numa mortalidade superior a 0 % e inferior a 100 %. A utilização de uma selecção de doses, previamente estabelecidas, independentemente da substância de ensaio, com a classificação especificamente dependente do número de animais observados em vários estados melhora as condições de comunicação de resultados entre laboratórios, bem como a consistência e a repetibilidade dos resultados.

Antes de efectuar o estudo, o laboratório de ensaio deve ter em conta toda a informação disponível sobre a substância de ensaio. Esta informação incluirá a identificação e a estrutura química da substância, as suas propriedades físico-químicas, os resultados de quaisquer outros ensaios de toxicidade da substância *in vitro* ou *in vivo*, dados toxicológicos sobre substâncias estruturalmente semelhantes e a(s) utilização(ões) prevista(s) para a substância. Esta informação é necessária para satisfazer todos os envolvidos em relação à relevância do ensaio ao nível da protecção da saúde humana e será útil na determinação da dose inicial mais adequada.

1.2. DEFINIÇÕES

Toxicidade oral aguda: refere-se ao conjunto de efeitos adversos que se manifestam após a administração oral de uma dose única da substância ou de várias doses num período de 24 horas.

Morte retardada: significa que o animal não morre nem aparenta estar moribundo num período de 48 horas, mas morre mais tarde, no decorrer do período de observação de 14 dias.

Dose: quantidade aplicada da substância de ensaio. O valor da dose é expresso em peso de substância de ensaio por unidade de peso de animal de ensaio (por exemplo, mg/kg).

GHS: Sistema Harmonizado ao Nível Mundial (Globally Harmonised System) para a Classificação de Substâncias Químicas e Misturas. Trata-se de um trabalho conjunto da OCDE (saúde humana e ambiente), do Comité de Peritos em Transporte de Mercadorias Perigosas das Nações Unidas (propriedades físico-químicas) e da OIT (notificação de perigos) e coordenado pelo Programa Interorganizações para a Boa Gestão das Substâncias Químicas [Interorganisation Programme for the Sound Management of Chemicals (IOMC)].

Morte iminente: situação em que se prevê a ocorrência de estado moribundo ou morte antes da seguinte observação planeada. Alguns dos sinais indicativos deste estado em roedores incluem convulsões, posição lateral, posição deitada e tremores. [Para informação detalhada, consultar o Documento de Orientação sobre Critérios Específicos sem Dor (9)].

DL₅₀ (Dose Letal Média): dose única, calculada estatisticamente, de uma substância susceptível de causar a morte de 50 % dos animais quando administrada por via oral. O valor da DL₅₀ é expresso em peso de substância de ensaio por unidade de peso de animal de ensaio (mg/kg).

Dose-limite: refere-se a uma dose com o valor-limite superior admitido pelo ensaio (2 000 ou 5 000 mg/kg).

Estado moribundo: encontrar-se num estado de morte ou de incapacidade de sobrevivência, mesmo com tratamento. [Para informação detalhada, consultar o Documento de Orientação sobre Critérios Específicos sem Dor (9).]

Morte previsível: presença de sinais clínicos indicativos de ocorrência de morte em determinada altura, antes do final planeado da experiência; por exemplo: incapacidade de alcançar água ou comida. [Consultar o Documento de Orientação de Critérios Específicos sem Dor (9) para mais detalhes.]

1.3. PRINCÍPIO DO ENSAIO

O princípio do presente ensaio é que, com base num procedimento gradual com a utilização de um número mínimo de animais por etapa, é possível obter informação suficiente sobre a toxicidade aguda de uma substância de ensaio, de modo a permitir a sua classificação. A substância é administrada, por via oral, a um grupo de animais de ensaio a uma das doses anteriormente definidas. A substância é ensaiada utilizando um procedimento gradual, em que cada etapa utiliza três animais do mesmo sexo (normalmente fêmeas). A existência ou inexistência de mortalidade, relacionada com composto, dos animais tratados numa dada etapa, determinará a etapa seguinte, ou seja:

- não são necessários mais ensaios,
- é administrada a mesma dose a mais três animais,
- é administrada a dose seguinte, maior ou menor, a mais três animais.

No anexo 1 apresenta-se informação detalhada sobre o procedimento de ensaio. O método permitirá uma avaliação conducente à classificação da substância de ensaio numa das classes de toxicidade definidas pelos valores-limite de DL₅₀.

1.4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.4.1. Selecção de espécies animais

A espécie de roedores preferida para ensaio é o rato, mas podem ser utilizadas outras espécies de roedores. Normalmente, utilizam-se fêmeas (9). Tal escolha deve-se ao facto de uma análise da literatura científica relativa aos ensaios convencionais de DL₅₀ revelar que, habitualmente, a diferença de sensibilidade entre os sexos é pequena e, nos casos em que são observadas diferenças, as fêmeas são, de um modo geral, ligeiramente mais sensíveis (11). No entanto, devem utilizar-se machos caso as propriedades toxicológicas ou tóxico-cinéticas descritas para substâncias químicas estruturalmente semelhantes indicarem que estes podem revelar maior sensibilidade. Quando o ensaio é efectuado com machos, deve ser apresentada uma justificação adequada.

Devem ser utilizados animais adultos, jovens e saudáveis e pertencentes a estirpes laboratoriais de uso corrente. As fêmeas devem ser nulas e não grávidas. No início da administração das doses, todos os animais devem ter idades compreendidas entre as 8 e as 12 semanas e um peso compreendido no intervalo de $\pm 20\%$ do peso médio dos animais aos quais foram anteriormente administradas doses.

1.4.2. Condições de alojamento e alimentação

A temperatura do compartimento experimental dos animais deve ser 22°C ($\pm 3^\circ\text{C}$). A humidade relativa deverá ser 50 %-60 %, embora sejam aceitáveis valores entre um mínimo de 30 % e um máximo que, de preferência, não deverá exceder 70 %, salvo durante os períodos de limpeza do compartimento. A iluminação deve ser artificial, com sequências de 12 horas de luz e 12 horas de escuridão. A alimentação pode basear-se em dietas de laboratório convencionais, com fornecimento ilimitado de água para beber. Os animais aos quais é administrada a mesma dose podem ser agrupados na mesma gaiola, desde que o número de animais em cada gaiola não impeça a observação clara de cada um deles.

1.4.3. **Preparação dos animais**

Os animais são escolhidos ao acaso, marcados de modo a permitir uma identificação individualizada e mantidos nas suas gaiolas durante, pelo menos, cinco dias antes do início da administração das doses para que se aclimatem às condições laboratoriais.

1.4.4. **Preparação das doses**

De um modo geral, as substâncias de ensaio devem ser administradas num volume constante ao longo de toda a gama de doses a ensaiar através da variação da concentração na preparação da dose. No entanto, para o caso do ensaio de um produto ou de uma mistura no estado líquido, pode ser mais relevante para a avaliação de risco subsequente a utilização da substância de ensaio sem qualquer diluição, ou seja, a concentração constante, sendo este um requisito apresentado por algumas autoridades competentes. Em qualquer dos casos, não deve ser excedido o volume máximo da dose a ser administrada. O volume máximo de líquido que pode ser administrado de cada vez depende do tamanho do animal de ensaio. No caso de roedores, o volume não deve exceder, em condições normais, 1 ml/100 g de peso corporal. Para soluções aquosas, contudo, pode ser considerada a dose de 2 ml/100 g de peso corporal. Recomenda-se que, sempre que possível, seja considerada em primeiro lugar a utilização de uma solução/suspensão/emulsão aquosa; caso tal não seja viável, pode considerar-se o uso de uma solução/suspensão/emulsão em óleo (por exemplo, óleo de milho); em última instância, poderá eventualmente recorrer-se ao uso de soluções noutros excipientes. Devem conhecer-se as características toxicológicas dos excipientes que não sejam a água. As doses devem ser preparadas pouco tempo antes da sua administração, a menos que a estabilidade da preparação ao longo do período de utilização seja conhecida e tenha sido considerada aceitável.

1.5. **PROCEDIMENTO**

1.5.1. **Administração de doses**

A administração por sonda esofágica deve ser feita, de preferência, numa toma única, usando um tubo estomacal ou uma cânula de intubação apropriada. Nos casos raros em que não é possível a administração de uma toma única, a dose pode ser administrada em fracções menores ao longo de um período não superior a 24 horas.

Os animais devem ser sujeitos a jejum antes da administração das doses (por exemplo, no caso de ratos, não deve dar-se comida durante a noite, mas deve manter-se o fornecimento de água; no caso de ratinhos, a comida deve ser suspensa durante 3-4 horas e deve ser mantido o fornecimento de água). Após o período de jejum, os animais devem ser pesados e deve ser administrada a substância de ensaio. Após a administração da substância, pode evitar dar-se comida durante 3-4 horas para ratos e 1-2 horas para ratinhos. Nos casos de administração fraccionada da dose durante um certo lapso de tempo, pode ser necessário dar comida e água aos animais, consoante a duração do período de administração.

1.5.2. **Número de animais e doses**

São utilizados três animais em cada etapa. A dose a utilizar inicialmente deve ser seleccionada entre uma das quatro doses fixas de 5, 50, 300 e 2 000 mg/kg de peso corporal. A dose inicial deve ser aquela que apresenta maior probabilidade de induzir mortalidade em alguns dos animais tratados. Os fluxogramas do anexo 1 descrevem o procedimento a seguir para cada uma das doses iniciais. Apresentam-se ainda, no anexo 4, as orientações sobre a classificação segundo o sistema da UE, em vigor até à implementação do novo GHS.

Quando a informação disponível for indicativa de que não é muito provável que ocorra mortalidade com a maior dose inicial (2 000 mg/kg de peso corporal), deve efectuar-se um teste-limite. Quando não existir qualquer informação disponível sobre a substância de ensaio, recomenda-se a utilização de uma dose inicial de 300 mg/kg de peso corporal por razões de protecção dos animais.

O intervalo de tempo entre os grupos de tratamento é determinado pelo aparecimento, duração e gravidade dos sinais de toxicidade. O tratamento dos animais com a dose seguinte deve ser adiado até ser possível estabelecer com segurança a sobrevivência dos animais previamente tratados.

Excepcionalmente, e apenas quando justificado por necessidades legais específicas, pode ser considerada a utilização de uma dose fixa superior adicional de 5 000 mg/kg (consultar o anexo 2). Por razões de protecção dos animais, é desencorajado o ensaio de animais na Categoria 5 do GHS (2 000-5 000 mg/kg) e esta dose só deve ser considerada quando existe uma elevada probabilidade de os resultados deste ensaio terem relevância directa para a protecção da saúde humana ou dos animais ou do ambiente.

1.5.3. **Teste-limite**

O teste-limite é utilizado, essencialmente, em situações nas quais o analista tem informação indicativa do material de ensaio não ser provavelmente tóxico, ou seja, só apresenta toxicidade acima das doses limite regulamentadas. A informação sobre a toxicidade do material de ensaio pode ser obtida a partir de ensaios em compostos semelhantes ou de ensaios de misturas ou produtos semelhantes, tendo em consideração a identificação e percentagem dos componentes cuja relevância toxicológica é conhecida. Nos casos em que a informação sobre a sua toxicidade é limitada ou inexistente ou nos casos em que é previsível que o material a ensaiar seja tóxico, deve ser efectuado o estudo principal.

Pode ser efectuado um teste-limite a uma dose de 2 000 mg/kg de peso corporal com seis animais (três animais por etapa). Excepcionalmente, pode ser efectuado um teste-limite a uma dose de 5 000 mg/kg de peso corporal com três animais (consultar o anexo 2). Caso ocorra mortalidade na sequência da administração da substância de ensaio, pode ser necessário efectuar ensaios posteriores com a dose inferior seguinte.

1.6. OBSERVAÇÕES

Após a aplicação da dose, os animais devem ser observados individualmente, pelo menos uma vez durante os primeiros trinta minutos e periodicamente durante as primeiras 24 horas, com especial cuidado nas primeiras quatro horas. Em seguida, é necessário observar os animais diariamente, durante um período de 14 dias, excepto se for necessário retirá-los do estudo e sacrificá-los sem dor por motivo de bem-estar dos animais, ou se forem encontrados mortos. No entanto, a duração do período de observação não deve ser estabelecida de uma forma rígida, mas determinada com base nas reacções de toxicidade, velocidade do seu aparecimento e duração do período de recuperação, que pode ser prolongado, se considerado necessário. O momento em que os sinais de toxicidade aparecem e desaparecem são importantes, sobretudo se os sinais de toxicidade tendem a aparecer de uma forma retardada (12). Todas as observações são registadas sistematicamente, mantendo-se uma ficha individual para cada animal.

Serão necessárias observações adicionais se os animais continuarem a apresentar sinais de toxicidade. As observações devem incluir alterações na pele e pêlos, olhos, membranas mucosas, aparelho respiratório, aparelho circulatório, sistema nervoso autónomo e central, assim como na actividade somatomotora e comportamental. Devem ser observados com especial atenção os tremores, convulsões, salivação, diarreia, letargia, sono e coma. Devem ser tomados em consideração os princípios e critérios resumidos no Documento de Orientação de Critérios Específicos sem Dor (9). Os animais que forem encontrados em estado moribundo e os animais que apresentarem dores violentas ou sinais de sofrimento intenso e continuado devem ser sacrificados sem dor. Quando os animais forem sacrificados a fim de evitar dor ou se forem encontrados mortos, deve ser registado o momento da morte com o maior rigor possível.

1.6.1. **Peso corporal**

O peso individual dos animais deve ser determinado imediatamente após a administração da substância de ensaio e, seguidamente, pelo menos uma vez por semana. Devem ser calculadas e registadas todas as variações de peso. No final do ensaio, os animais sobreviventes são pesados e, seguidamente, sacrificados sem dor.

1.6.2. **Patologia**

Todos os animais de ensaio (incluindo aqueles que morreram durante o ensaio ou que foram retirados do ensaio por motivos de preservação do bem-estar do animal) devem ser sujeitos a uma autópsia pouco pormenorizada. Devem ser registadas as alterações patológicas principais observadas em cada animal. Deve também ser considerada a realização de um exame microscópico dos órgãos que mostrem sinais de patologia grave em animais que sobreviveram, no mínimo, 24 horas após a aplicação da dose inicial, já que este exame pode fornecer informação útil.

2. DADOS

Devem ser apresentados os dados individuais para cada animal. Adicionalmente, todos os dados devem ser resumidos em forma tabular, mostrando, para cada grupo de ensaio, o número de animais utilizado, o número de animais que apresentaram sinais de toxicidade, o número de animais que foram encontrados mortos durante o ensaio ou que foram sacrificados a fim de evitar dor, o momento da morte de cada um dos animais, a descrição e evolução temporal dos efeitos de toxicidade e sua reversibilidade, assim como os resultados da autópsia.

3. RELATÓRIO

3.1. **Relatório do ensaio**

O relatório do ensaio deverá incluir as seguintes informações:

Substância de ensaio:

- natureza física, pureza e propriedades físico-químicas relevantes (incluindo isomerização);
- dados relativos à identificação química, incluindo o número CAS.

Excipiente (se apropriado):

- caso o excipiente não seja água, uma justificação para a sua escolha.

Animais de ensaio:

- espécie/estirpe usada;
- estado microbiológico do animal, caso seja conhecido;
- número, idade e sexo dos animais (incluindo, quando necessário, uma justificação para o uso de machos em vez de fêmeas);
- proveniência, condições de alojamento, dieta, etc.

Condições do ensaio:

- informação pormenorizada sobre a formulação da substância, incluindo informação pormenorizada sobre a forma física do material administrado;
- informação pormenorizada sobre a administração da substância de ensaio, incluindo volume das doses e o momento da aplicação;
- informação pormenorizada sobre a qualidade dos alimentos e da água (incluindo tipo e origem da dieta, origem da água);
- justificação para a escolha da dose inicial.

Resultados:

- tabela dos dados de resposta e da dose para cada animal (ou seja, animais que apresentaram sinais de toxicidade, incluindo mortalidade, natureza, gravidade e duração dos efeitos);
- tabela com indicação do peso corporal e suas variações;
- pesos individuais de animais no dia em que é aplicada a dose, uma vez por semana no restante período e na altura da sua morte ou sacrifício;
- data e momento da morte, no caso de ocorrência de morte antes do sacrifício previsto;
- evolução temporal do aparecimento de sintomas de toxicidade e sua reversibilidade para cada animal;
- resultados da autópsia e resultados histopatológicos para cada animal, caso se encontrem disponíveis.

Análise dos resultados.

Conclusões.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Roll R., Höfer-Bosse Th. And Kayser D., (1986) New Perspectives in Acute Toxicity Testing of Chemicals. Toxicol. Lett., Suppl. 31, p. 86.
- (2) Roll R., Riebschläger M., Mischke U. and Kayser D., (1989). Neue Wege zur Bestimmung der akuten Toxizität von Chemikalien. Bundesgesundheitsblatt 32, p. 336-341.
- (3) Diener W., Sichha L., Mischke U., Kayser D. and Schlede E., (1994) The Biometric Evaluation of the Acute-Toxic-Class Method (Oral). Arch. Toxicol. 68, p. 559-610.
- (4) Diener W., Mischke U., Kayser D. and Schlede E., (1995) The Biometric Evaluation of the OECD Modified Version of the Acute-Toxic-Class Method (Oral). Arch. Toxicol. 69, p. 729-734.

-
- (5) Diener W., and Schlede E., (1999) Acute Toxicity Class Methods: Alterations to LD/LC₅₀ Tests. ALTEX 16, p. 129-134.
 - (6) Schlede E., Mischke U., Roll R. and Kayser D., (1992) A National Validation Study of the Acute-Toxic-Class Method — An Alternative to the LD₅₀ Test. Arch. Toxicol. 66, p. 455-470.
 - (7) Schlede E., Mischke U., Diener W. and Kayser D., (1994) The International Validation Study of the Acute-Toxic-Class Method (Oral). Arch. Toxicol. 69, p. 659-670.
 - (8) OECD, (2001) Guidance Document on Acute Oral Toxicity Testing. Environmental Health and Safety Monograph Series on Testing and Assessment No 24. Paris.
 - (9) OECD, (2000) Guidance Document on the Recognition, Assessment and Use of Clinical Signs as Humane Endpoints for Experimental Animals Used in Safety Evaluation. Environmental Health and Safety Monograph Series on Testing and Assessment No 19.
 - (10) OECD, (1998) Harmonized Integrated Hazard Classification System For Human Health And Environmental Effects Of Chemical Substances as endorsed by the 28th Joint Meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals in November 1998, Part 2, p. 11. [<http://webnet1.oecd.org/oecd/pages/home/displaygeneral/0,3380,EN-documents-521-14-no-24-no-0,FF.html>].
 - (11) Lipnick R. L., Cotruvo, J. A., Hill R. N., Bruce R. D., Stitzel K. A., Walker A. P., Chu I.; Goddard M, Segal L., Springer J. A. and Myers R. C., (1995) Comparison of the Up-and Down, Conventional LD₅₀, and Fixed Dose Acute Toxicity Procedures. Fd. Chem. Toxicol 33, p. 223-231.
 - (12) Chan P.K. and A.W. Hayes., (1994) Chap. 16. Acute Toxicity and Eye Irritancy. *Principles and Methods of Toxicology*. Third Edition. A.W. Hayes, Editor. Raven Press Ltd., New York, USA.

ANEXO 1

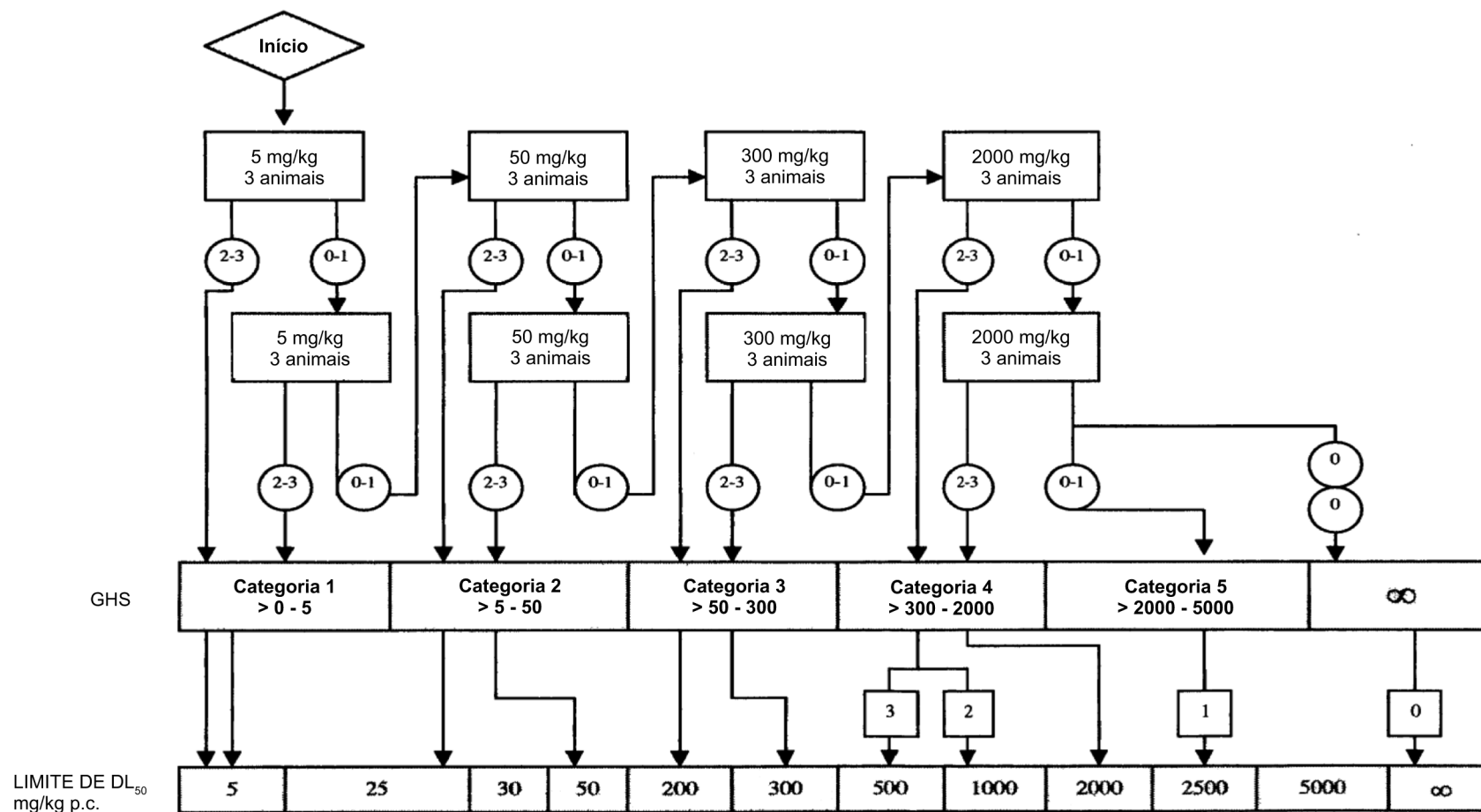
PROCEDIMENTO A SEGUIR PARA CADA UMA DAS DOSES INICIAIS*CONSIDERAÇÕES GERAIS*

Os esquemas de ensaio, descritos no presente anexo, descrevem esquematicamente o procedimento a seguir para cada dose inicial.

- Anexo 1a: a dose inicial é de 5 mg/kg p.c.
- Anexo 1b: a dose inicial é de 50 mg/kg p.c.
- Anexo 1c: a dose inicial é de 300 mg/kg p.c.
- Anexo 1d: a dose inicial é de 2 000 mg/kg p.c.

Consoante o número de animais sacrificados sem dor ou mortos, o procedimento de ensaio segue as setas respectivas.

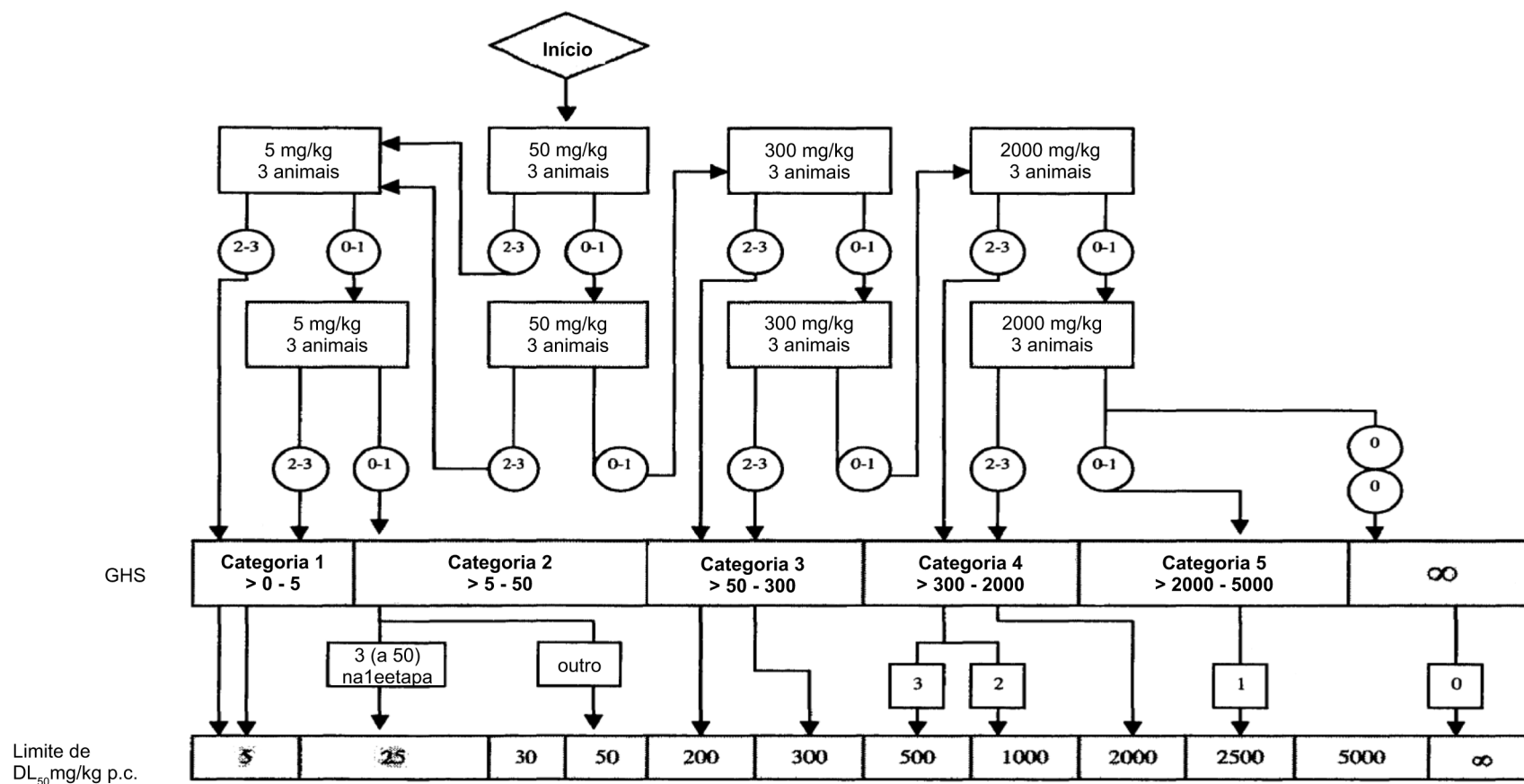
A PROCEDIMENTO DE ENSAIO COM UMA DOSE INICIAL DE 5 MG/KG DE PESO CORPORAL



- Por etapa, são utilizados 3 animais do mesmo sexo (normalmente fêmeas)
 - 0, 1, 2, 3: número de animais moribundos ou mortos em cada etapa
 - GHS: Sistema de Classificação Harmonizado a Nível Mundial (mg/kg p.c.)

- ∞: não classificada
 - Ensaio a 5000 mg/kg p.c. consultar o Anexo 2

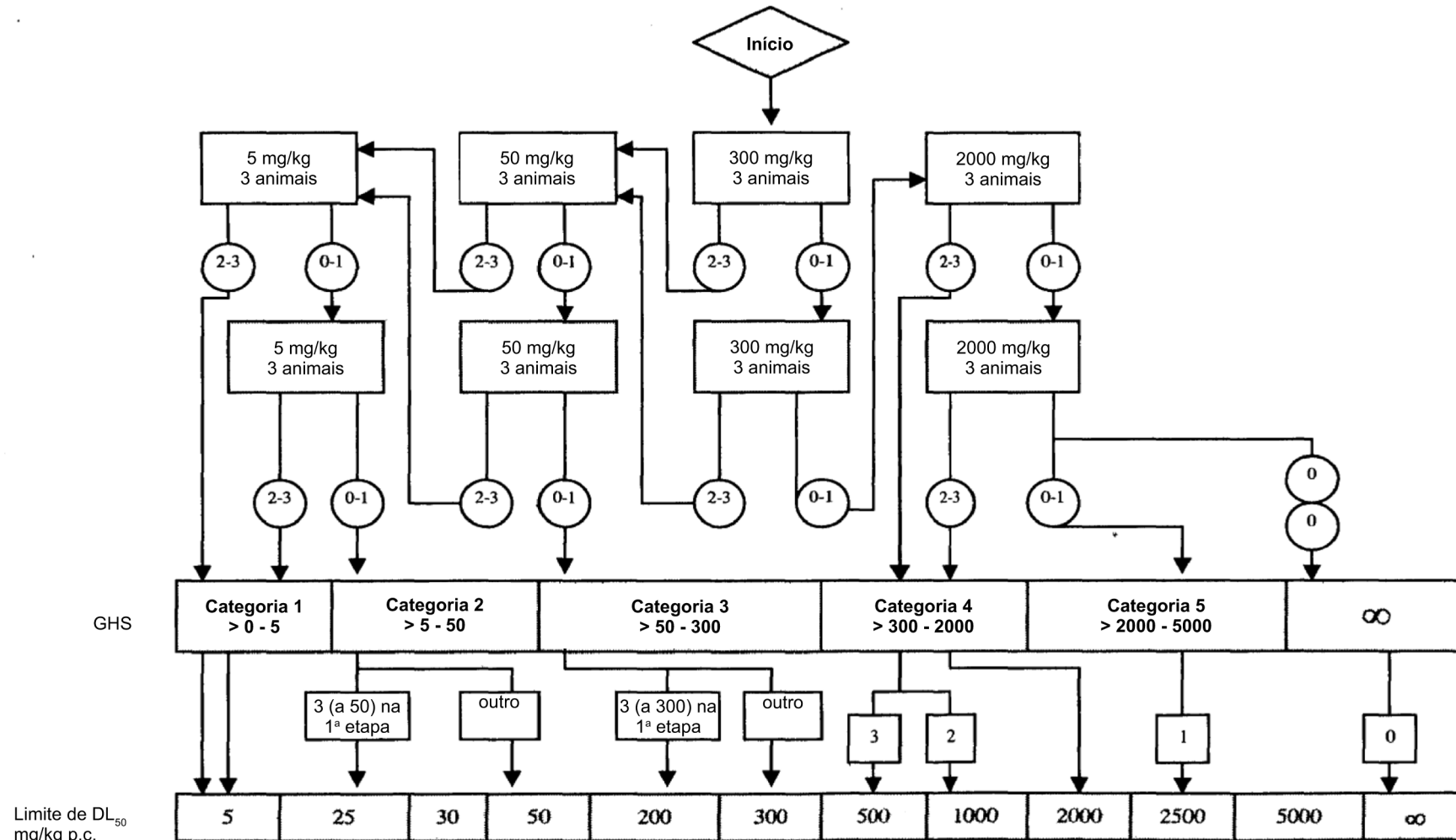
PROCEDIMENTO DE ENSAIO COM UMA DOSE INICIAL DE 50 MG/KG DE PESO CORPORAL



- Por etapa, são utilizados 3 animais do mesmo sexo (normalmente fêmeas)
 - 0, 1, 2, 3: número de animais moribundos ou mortos em cada etapa
 - GHS: Sistema de Classificação Harmonizado a Nível Mundial (mg/kg p.c.)

- ∞: não classificada
 - Ensaio a 5000 mg/kg p.c.: consultar o Anexo 2

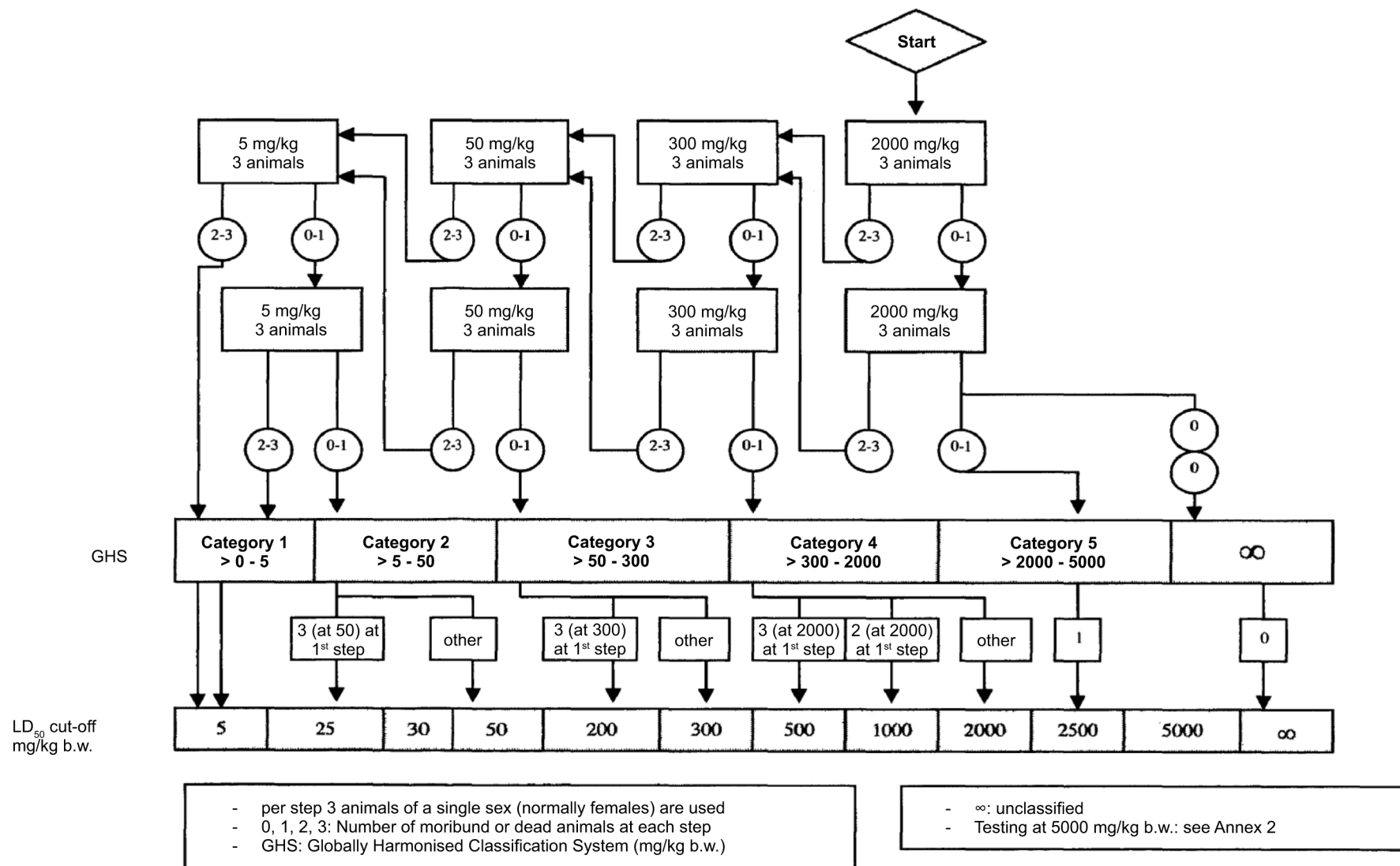
PROCEDIMENTO DE ENSAIO COM UMA DOSE INICIAL DE 300 MG/KG DE PESO CORPORAL



- por etapa, são utilizados 3 animais do mesmo sexo (normalmente fêmeas)
- 0, 1, 2, 3: número de animais moribundos ou mortos em cada etapa
- GHS: Sistema de Classificação Harmonizado a Nivel Mundial (mg/kg p.c.)

- ∞: não classificada
- Ensaio a 5000 mg/kg p.c.: consultar o Anexo 2

PROCEDIMENTO DE ENSAIO COM UMA DOSE INICIAL DE 2 000 MG/KG DE PESO CORPORAL



ANEXO 2

CRITÉRIOS PARA A CLASSIFICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS DE ENSAIO COM VALORES PREVISÍVEIS DE DL₅₀ SUPERIORES A 2 000 MG/KG SEM NECESSIDADE DE EFECTUAR ENSAIO

Os critérios para a Categoria de Perigosidade 5 destinam-se a permitir a identificação de substâncias de ensaio que representam um perigo de toxicidade aguda relativamente baixo, mas que, em certas circunstâncias, podem representar perigo para populações vulneráveis. É previsível que tais substâncias apresentem valores de DL₅₀ por via oral ou dérmica na gama de 2 000-5 000 mg/kg ou dose equivalente para outras vias. As substâncias de ensaio podem ser classificadas na categoria de perigosidade definida por: 2 000 mg/kg < DL₅₀ < 5 000 mg/kg (Categoria 5 do GHS) nos seguintes casos:

- a) se classificadas nesta categoria por qualquer dos esquemas de ensaio do anexo 1a-1d, baseados nas incidências de mortalidade;
- b) se existir prova fiável indicativa de que os valores de DL₅₀ se encontram na gama correspondente à Categoria 5 ou se outros estudos em animais ou sobre efeitos de toxicidade em seres humanos forem indicativos de preocupação acentuada em relação à salvaguarda da saúde humana;
- c) através de extrapolação, estimativa ou medição de dados, desde que não seja garantida a atribuição a uma classe mais perigosa, e
 - quando existe informação fiável indicativa de efeitos de toxicidade significativos em seres humanos, ou
 - quando não é registada mortalidade nos ensaios por via oral até doses correspondentes aos valores para a Categoria 4, ou
 - quando o perito é de opinião de que não se verificam sintomas clínicos de toxicidade significativos para ensaios até doses com valores correspondentes à Categoria 4, com excepção de diarreia, erecção pilosa ou má aparência, ou
 - nos casos em que o perito confirme a existência de informação fiável, proveniente de outros estudos em animais que seja indicativa da existência de potenciais efeitos agudos significativos.

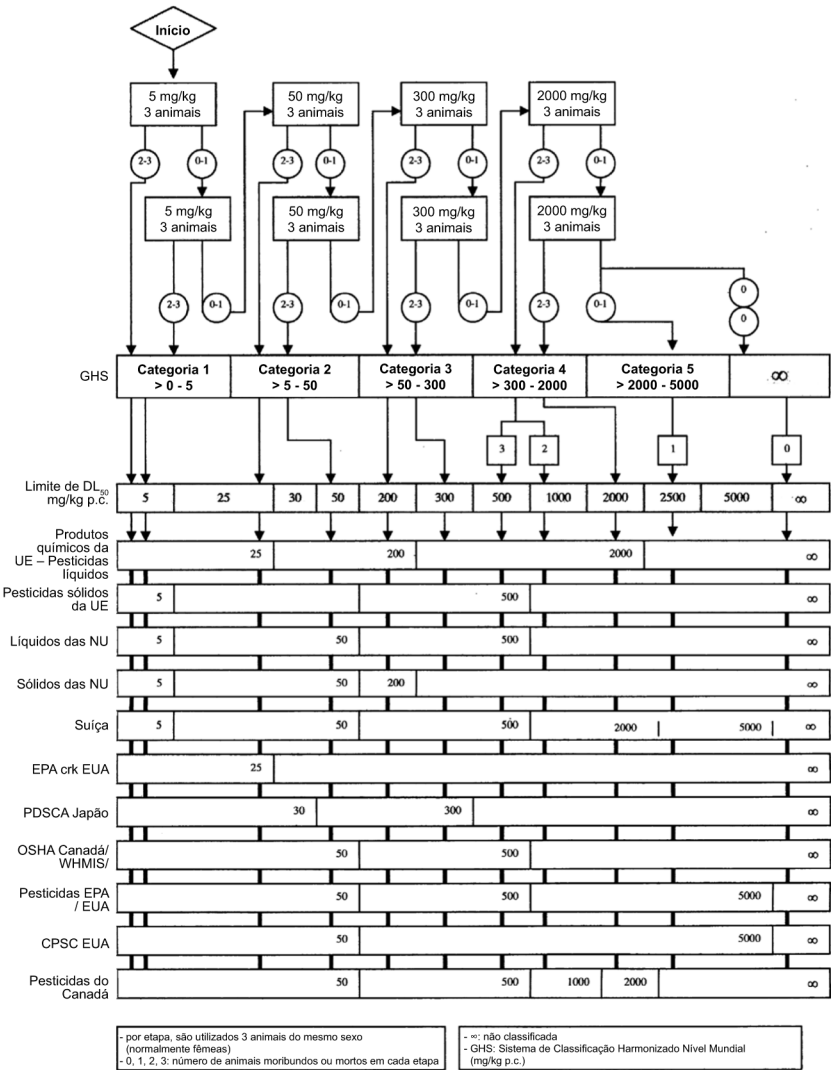
ENSAIOS COM DOSES SUPERIORES A 2 000 MG/KG

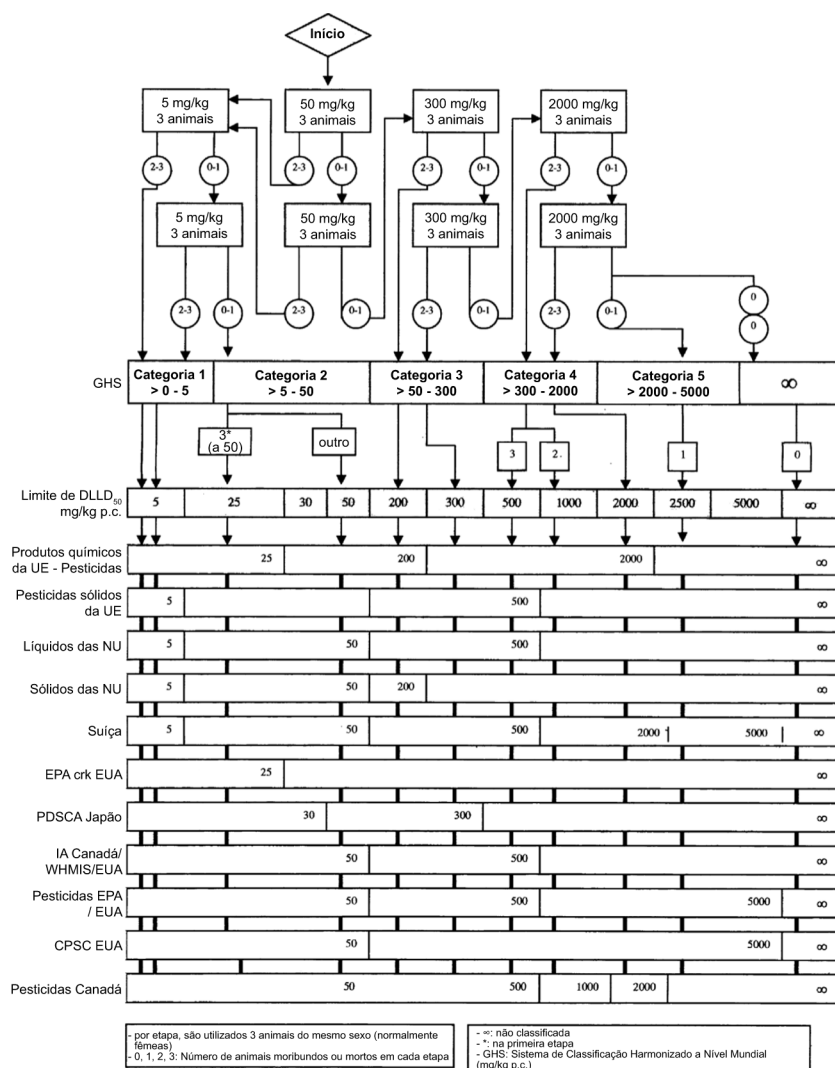
Devido ao reconhecimento da necessidade de proteger o bem-estar dos animais, os ensaios de animais na Categoria 5 (5 000 mg/kg) são desencorajados e só devem ser considerados no caso de ser muito provável que os resultados desse ensaio tenham especial relevância para a protecção da saúde humana ou animal (10). Não devem ser efectuados ensaios a doses superiores.

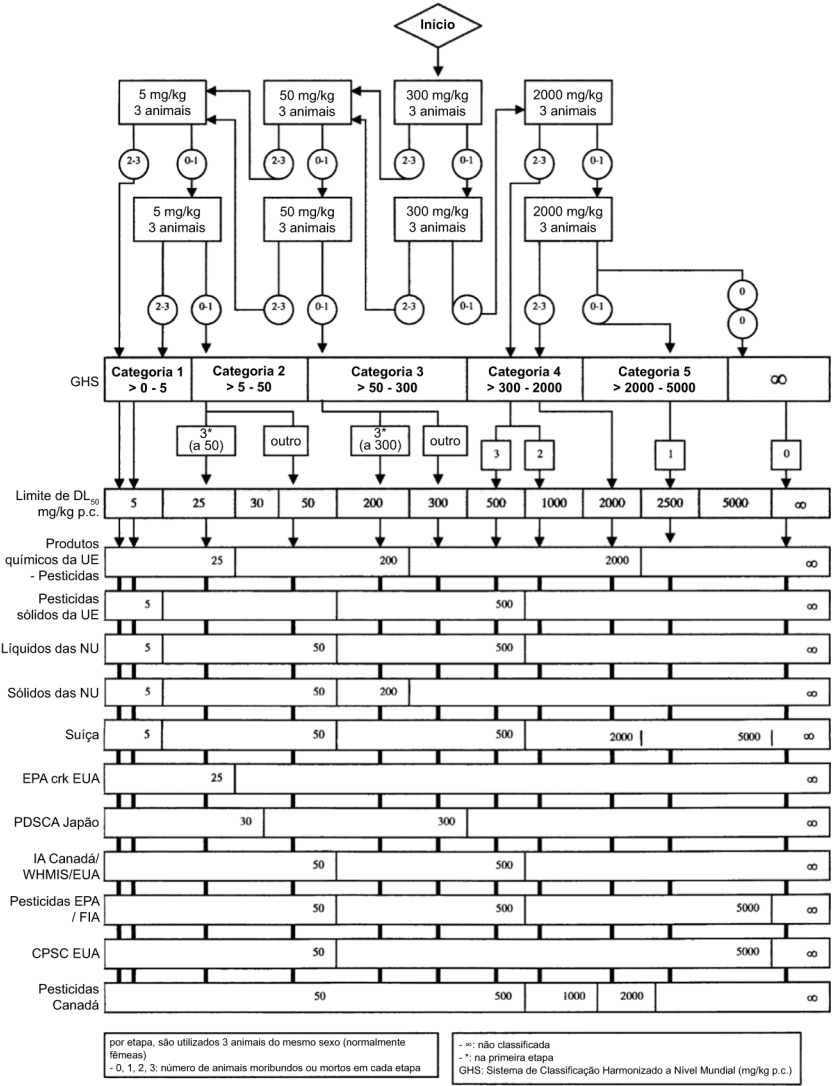
Quando é necessário efectuar o ensaio com uma dose de 5 000 mg/kg, só é necessária uma etapa (ou seja, três animais). Se o primeiro animal tratado morre, o ensaio prossegue a uma dose de 2 000 mg/kg, em conformidade com os fluxogramas do anexo 1. Se o primeiro animal sobrevive, são tratados dois outros animais. Se somente um dos três animais morrer, é de prever que o valor de DL₅₀ seja superior a 5 000 mg/kg. Se ambos os animais morrerem, o ensaio prossegue com uma dose de 2 000 mg/kg.

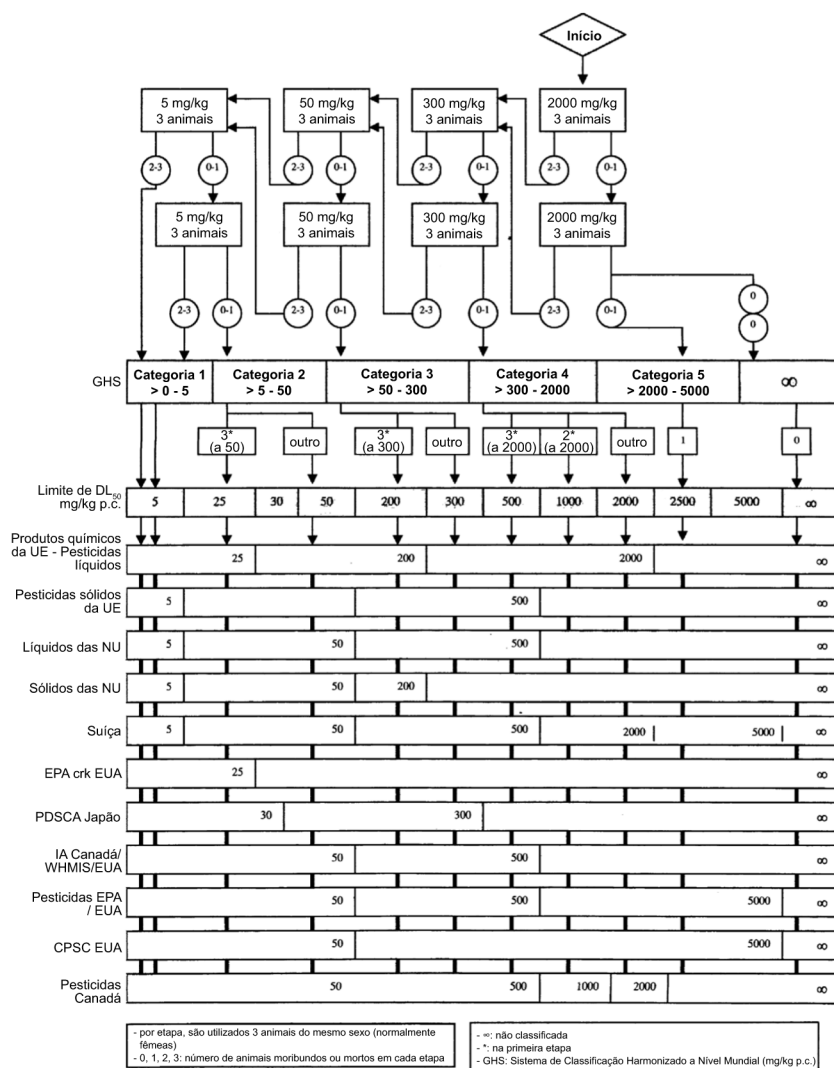
ANEXO 3

MÉTODO DE ENSAIO B.I.tris: Orientações sobre a classificação em conformidade com o esquema transitório da UE em vigor até à implementação total do Sistema de Classificação Harmonizado a Nível Mundial (GHS) [obtido da referência (8)]









B.2. TOXICIDADE AGUDA (INALAÇÃO)**1. MÉTODO****1.1. INTRODUÇÃO**

É útil possuir informações preliminares sobre a distribuição granulométrica das partículas, pressão de vapor, ponto de fusão, ponto de ebulição, ponto de inflamação e explosividade (se aplicável) da substância de ensaio.

Ver também a Introdução Geral, parte B (ponto A).

1.2. DEFINIÇÕES

Ver Introdução Geral, parte B (ponto B).

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Nenhuma.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Vários grupos de animais de experiência são expostos, durante um período determinado, a concentrações diferentes de substâncias a testar à razão de uma concentração por grupo. Subsequentemente, procede-se à observação dos efeitos e das mortes ocorridas. Os animais que morrem durante o ensaio são submetidos a autópsia e no fim do ensaio os animais sobreviventes são também submetidos a autópsia.

Pode ser necessário sacrificar os animais que apresentem manifestações graves e permanentes de angústia e dor. Não se deve dosear as substâncias de ensaio de uma forma que se saiba provocar dor acentuada e angústia devido às suas propriedades corrosivas ou irritantes.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

Nenhum.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO**1.6.1. Preparativos**

Os animais são mantidos sob as condições de alojamento e alimentação experimentais durante pelo menos cinco dias antes do ensaio. Antes do ensaio procede-se a uma escolha aleatória de animais adultos jovens e saudáveis que são distribuídos por grupos de tratamento. Não é necessário submetê-los a uma exposição simulada a não ser que tal facto seja indicado pelo tipo de aparelho de exposição que se utiliza.

Pode ser necessário micronizar as substâncias de ensaio sólidas no sentido de se conseguir partículas com dimensões apropriadas.

Sempre que necessário pode adicionar-se à substância de ensaio um veículo adequado para ajudar a obter uma concentração adequada da substância de ensaio na atmosfera e deverá utilizar-se então um grupo de controlo tratado com veículo. No caso de se utilizar um veículo ou outros aditivos para facilitar a administração da dose, é necessário fazer a sua selecção entre os que não produzem efeitos tóxicos. Pode recorrer-se a dados históricos se for apropriado.

1.6.2. Condições de ensaio**1.6.2.1. Animais de experiência**

Salvo no caso de haver contra-indicações, o rato constitui a espécie preferencial. Devem utilizar-se as estirpes vulgarmente utilizadas em laboratório. Para cada sexo, no início do ensaio, o intervalo de variação do peso para os animais utilizados não deverá exceder $\pm 20\%$ do valor médio apropriado.

1.6.2.2. Número e sexo

Utilizam-se pelo menos 10 roedores (cinco fêmeas e cinco machos) para cada nível de concentração. As fêmeas devem ser nulas e não grávidas.

Nota: Nos ensaios de toxicidade aguda com animais de uma ordem superior à dos roedores deve levar-se em consideração a possibilidade de utilizar um menor número de animais. As doses deverão ser seleccionadas cuidadosamente e deverão ser feitos todos os esforços possíveis para não exceder as doses moderadamente tóxicas. Nestes ensaios deve evitar-se a administração de doses letais da substância de ensaio.

1.6.2.3. Concentrações de exposição

Estas devem ser em número suficiente, pelo menos três, e adequadamente espaçadas para originarem grupos de ensaio com uma diversidade de efeitos tóxicos e de taxas de mortalidade. Os dados deverão ser suficientes para permitirem traçar uma curva dose/resposta e, sempre que possível, uma determinação aceitável do valor CL_{50} .

1.6.2.4. Teste limite

Se a exposição de cinco machos e cinco fêmeas a uma concentração de 20 mg/l de um gás ou 1 mg/l de um aerossol ou de partículas, durante quatro horas (ou, nos casos em que tal não seja possível devido às propriedades físico-químicas, incluindo propriedades explosivas, da substância testada, à máxima concentração que seja possível utilizar) não provocar a morte a qualquer animal num prazo de 14 dias, pode considerar-se desnecessário prosseguir os testes.

1.6.2.5. Tempo de exposição

O período de exposição deve ser de quatro horas.

1.6.2.6. Equipamento

Os animais deverão ser expostos à substância a testar por meio de um dispositivo de inalação concebido de forma a conseguir-se um fluxo de ar contínuo que assegurará pelo menos 12 renovações de ar por hora e que garanta uma concentração de oxigénio apropriada e uma distribuição uniforme do produto a testar no ar. No caso de se utilizar uma câmara, essa será concebida de maneira a obter-se uma superlotação mínima dos animais e uma exposição máxima da substância de ensaio. Como regra geral, para se assegurar a estabilidade da atmosfera na câmara, o «volume» total dos animais de experiência não deverá ultrapassar 5 % do volume da câmara de ensaio. Pode também recorrer-se a um sistema de exposição oronasal, de cabeça apenas ou de corpo inteiro em câmara individual; os dois primeiros tipos de exposição permitem reduzir a penetração por outras vias.

1.6.2.7. Período de observação

O período de observação deve ser de, pelo menos, 14 dias. Contudo, o período de duração da observação não deve ser fixo rigidamente. Deve ser determinado pelas reacções tóxicas, o momento de aparecimento de sintomas e a duração do período de recuperação; em consequência, pode ser prolongado quando se considerar necessário. O momento em que as manifestações de toxicidade aparecem e desaparecem e o momento da morte são importantes, especialmente se existir uma tendência para retardar as mortes.

1.6.3. Procedimento

Imediatamente antes da exposição, os animais são pesados e depois são expostos à concentração de ensaio no aparelho especificado durante um período de quatro horas, após equilíbrio da concentração na câmara de ensaio. O tempo para se estabelecer o equilíbrio deve ser curto. A temperatura de ensaio deve ser mantida a $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$. Em condições ideais a humidade relativa deverá ser mantida entre 30 % e 70 %, mas em alguns casos (por exemplo, em ensaios de alguns aerossóis) tal pode ser impraticável. A manutenção de uma pressão ligeiramente negativa no interior da câmara de ensaio (≤ 5 mm de água) evitará a fuga da substância de ensaio para o meio envolvente. Durante o período de exposição não haverá fornecimento de alimentos nem de água. Devem ser utilizados sistemas adequados para gerar e monitorizar a atmosfera de ensaio. O sistema deve garantir que se atinja tão rapidamente quanto possível condições de exposição estáveis. A câmara de ensaio deverá ser concebida e utilizada de tal modo que se mantenha no seu interior uma distribuição homogénea da atmosfera de ensaio.

Deverá ser feita a medição ou monitorização de:

- a) débito de ar (permanentemente);

- b) concentração real da substância a testar medida na zona de respiração, pelo menos três vezes durante a exposição (algumas atmosferas, por exemplo aerossóis em concentrações elevadas, podem necessitar de uma monitorização mais frequente). Durante o período de exposição diária a concentração não variará além de + 15 % do valor médio. Contudo, no caso de alguns aerossóis esta precisão pode não ser possível e uma variação maior poderá então ser aceitável. No caso dos aerossóis, efectuar-se-á uma análise granulométrica das partículas tantas vezes quantas forem necessárias (pelo menos uma vez por grupo de ensaio);
- c) temperatura e humidade, continuamente, se for possível.

Durante e após a exposição às concentrações são feitas observações, que devem ser registadas sistematicamente; são feitas fichas individuais para cada animal. As observações deverão ser efectuadas com frequência regular durante o primeiro dia. Deve efectuar-se um exame clínico cuidadoso pelo menos uma vez durante cada dia de trabalho, e deverão ser efectuadas outras observações diariamente tomando-se acções apropriadas para minimizar as perdas de animais submetidos a estudo, por exemplo, efectuar-se-á a autópsia ou a refrigeração dos animais encontrados mortos e efectuar-se-á o isolamento ou o sacrifício dos animais fracos ou moribundos.

As observações deverão incluir as modificações do pêlo e da pele, dos olhos e das mucosas, do aparelho respiratório, do aparelho circulatório, do sistema nervoso autónomo e central, bem como a actividade somatomotora e do comportamento. Deve prestar-se particular atenção à observação de tremores, convulsões, salivação, diarreia, letargia, sono e coma. O momento da morte deve ser registado com uma exactidão tão grande quanto possível. O peso de cada animal deve ser determinado semanalmente após a exposição e no momento da morte.

Os animais que morrem durante o ensaio e os sobreviventes no fim do ensaio são submetidos a autópsia com particular referência para quaisquer modificações no tracto respiratório superior e inferior. Deverão ser registadas todas as modificações patológicas. Sempre que for aconselhável deverão ser preparadas amostras dos tecidos para exame histopatológico.

2. RESULTADOS

Os resultados deverão ser resumidos em quadros indicando-se para cada grupo de experiência o número de animais no início do teste, o momento da morte de cada animal, o número de animais que exibem outras manifestações de toxicidade, a descrição dos efeitos tóxicos e os resultados da autópsia. As variações de peso deverão ser calculadas e registadas quando o período de sobrevivência exceder um dia. Proceda-se ao registo dos animais que tiverem de ser sacrificados devido à dor e à angústia associadas à substância, procedendo-se de igual modo para as mortes associadas ao composto. O valor CL_{50} pode ser determinado por um método reconhecido. A avaliação dos resultados deverá incluir a relação, se existir, entre a exposição dos animais à substância de ensaio e a incidência e gravidade de todas as anomalias, incluindo as anomalias de comportamento e clínicas, as lesões graves, as modificações do peso do corpo, a mortalidade e quaisquer outros efeitos toxicológicos.

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

- espécies, estirpe, origem, condições ambientais, dieta, etc.;
- condições de ensaio: descrição do aparelho de exposição incluindo projecto, tipo, dimensões, fonte de ar, sistema para gerar aerossóis, método de condicionamento do ar e método para alojar animais na câmara de ensaio quando esta é utilizada. Deve fazer-se uma descrição do equipamento para a medição da temperatura, da humidade e das concentrações em aerossol e da distribuição granulométrica.

Resultados sobre a exposição

Estes resultados deverão ser agrupados em quadros e apresentados com valores médios e com uma medição de variabilidade (por exemplo, desvio-padrão) e se possível deverão conter:

- a) débitos de ar através do equipamento de inalação;
- b) temperatura e humidade do ar;
- c) concentrações nominais (quantidade total da substância de ensaio fornecida ao equipamento de inalação dividida pelo volume de ar);

- d) natureza do veículo, se for utilizado;
- e) concentrações reais na zona de respiração;
- f) diâmetro aerodinâmico médio de massa (DAMM) e desvio-padrão geométrico (DPG);
- g) período de equilíbrio;
- h) período de exposição:
 - apresentação de um quadro com os dados de resposta por sexo e por nível de exposição (isto é, número de animais que morreram ou que foram sacrificados durante o ensaio; número de animais que apresentam manifestações de toxicidade; número de animais expostos),
 - momento da morte durante ou após a exposição, razões e critérios utilizados para o sacrifício dos animais,
 - todas as observações,
 - valor CL_{50} determinado para cada sexo no fim do período de observação (com especificação do método de cálculo),
 - intervalo de confiança a 95 % para o valor CL_{50} (no caso de este poder ser obtido),
 - curva de dose/mortalidade e seu declive (sempre que permitido pelo método de determinação),
 - resultados da autópsia,
 - resultados das observações histopatológicas,
 - discussão dos resultados (deverá prestar-se particular atenção ao efeito que o sacrifício de animais durante o ensaio pode ter sobre o valor CL_{50} calculado),
 - interpretação dos resultados.

3.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B (ponto D).

4. REFERÊNCIAS

Ver Introdução Geral, parte B (ponto E).

B.3. TOXICIDADE AGUDA (DÉRMICA)

1. MÉTODO

1.1. INTRODUÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B (ponto A).

1.2. DEFINIÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B (ponto B).

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Nenhumas.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Aplica-se a substância de ensaio sobre a pele de diversos grupos de animais de experiência, em doses graduadas, utilizando-se uma dose por grupo. Subsequentemente, procede-se à observação dos efeitos e das mortes ocorridas. Os animais que morrem durante o ensaio são submetidos a autópsia e no fim do ensaio os animais sobreviventes são também submetidos a autópsia.

Pode ser necessário sacrificar os animais que apresentem manifestações graves e permanentes de angústia e dor. Não se deve dosear as substâncias de ensaio de uma forma que se saiba provocar dor acentuada e angústia devido às suas propriedades corrosivas ou irritantes.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

Nenhum.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.6.1. Preparativos

Os animais são mantidos nas suas gaiolas sob condições de alimentação e alojamento experimentais durante pelo menos cinco dias antes da experiência. Antes do ensaio os animais adultos jovens e saudáveis são seleccionados aleatoriamente e distribuídos por grupos de tratamento. Aproximadamente 24 horas antes do ensaio deve remover-se o pêlo da região dorsal dos animais, tosquiando-o ou rapando-o. Ao tosquiar ou ao rapar o pêlo é necessário tomar precauções para evitar lesões da pele que possam alterar a sua permeabilidade. A área destinada à aplicação da substância de ensaio não poderá ser inferior a 10 % da superfície corporal. Sempre que se procede ao ensaio de substâncias sólidas, as quais podem ser pulverizadas quando necessário, a substância de ensaio deve ser humedecida com água ou com um veículo apropriado para garantir um bom contacto com a pele. No caso de se utilizar um veículo, deve tomar-se em consideração a influência desse veículo relativamente à penetração da substância de ensaio na pele. Geralmente utilizam-se as substâncias de ensaio líquidas não diluídas.

1.6.2. Condições de ensaio

1.6.2.1. Animais de experiência

Pode ser utilizado o rato ou o coelho. Podem ser utilizadas outras espécies sendo necessário justificar a sua utilização. Devem utilizar-se as estirpes vulgarmente utilizadas em laboratório. Para cada sexo, no início do ensaio, o intervalo de variação do peso para os animais utilizados não deverá exceder $\pm 20\%$ do valor médio apropriado.

1.6.2.2. Número e sexo

Utilizam-se pelo menos cinco animais para cada dose. Devem ser todos do mesmo sexo. No caso de se utilizar fêmeas estas devem ser nulíparas e não devem estar grávidas. No caso de existir informação disponível demonstrando que um dos sexos é nitidamente mais sensível, deve fazer-se a administração das doses aos animais desse sexo.

Nota: Nos ensaios de toxicidade aguda com animais de uma ordem superior à dos roedores deve levar-se em consideração a possibilidade de utilizar um menor número de animais. As doses deverão ser seleccionadas cuidadosamente e deverão ser feitos todos os esforços possíveis para não exceder as doses moderadamente tóxicas. Nestes ensaios deve evitar-se a administração de doses letais da substância de ensaio.

1.6.2.3. Doses

Estas devem ser em número suficiente, pelo menos três, e adequadamente espaçadas para originarem grupos de ensaio com uma diversidade de efeitos tóxicos e de taxas de mortalidade. Ao tomar-se a decisão sobre as doses deve levar-se em consideração quaisquer efeitos irritantes ou corrosivos. Os dados deverão ser suficientes para permitirem traçar uma curva dose/resposta e, sempre que possível, uma determinação aceitável do valor DL_{50} .

1.6.2.4. Teste limite

Pode efectuar-se um teste limite com uma dose de pelo menos 2 000 mg/kg de peso do corpo num grupo de cinco machos e de cinco fêmeas utilizando os procedimentos anteriormente descritos. No caso de se observar mortalidade associada ao composto é necessário considerar a hipótese de realizar um estudo completo.

1.6.2.5. Período de observação

O período de observação deve ser de pelo menos 14 dias. Contudo o período de duração da observação não deve ser fixo rigidamente. Deve ser determinado pelas reacções tóxicas, o momento de aparecimento de sintomas e a duração do período de recuperação; em consequência, pode ser prolongado quando se considerar necessário. O momento em que as manifestações de toxicidade aparecem e desaparecem e o momento da morte são importantes, especialmente se existir uma tendência para retardar as mortes.

1.6.3. Procedimento

Os animais serão colocados em gaiolas individuais. A substância de ensaio será aplicada uniformemente numa área aproximadamente equivalente a 10 % da superfície total do corpo. No caso de substâncias altamente tóxicas, a superfície a utilizar poderá ser menor mas a camada da substância deverá ser o mais fina e uniforme possível.

A substância de ensaio deve ser mantida em contacto com a pele por meio de uma gaze porosa e de um adesivo antialérgico, durante um período de exposição de 24 horas. A superfície tratada será por sua vez convenientemente coberta de maneira a manter no seu lugar a gaze e a substância de ensaio e de modo a evitar que os animais ingiram a substância. Podem ser utilizados aparelhos de contenção para evitar a ingestão da substância mas não se recomenda a imobilização completa,

No fim do período de exposição é necessário eliminar todos os resíduos da substância, se possível, utilizando água ou qualquer outro meio adequado para limpeza da pele.

As observações devem ser feitas e registadas sistematicamente. São feitas fichas individuais para cada animal. As observações deverão ser efectuadas com frequência regular durante o primeiro dia. Deve efectuar-se um exame clínico cuidadoso pelo menos uma vez durante cada dia de trabalho, e deverão ser efectuadas outras observações diariamente tomando-se acções apropriadas para minimizar as perdas de animais submetidos a estudo, por exemplo, efectuar-se-á a autópsia ou a refrigeração dos animais encontrados mortos e efectuar-se-á o isolamento ou o sacrifício dos animais fracos ou moribundos.

As observações deverão incluir as modificações do pêlo, pele tratada, dos olhos e das mucosas, do aparelho respiratório, do aparelho circulatório, do sistema nervoso autónomo e central, bem como a actividade somatomotora e do comportamento. Deve prestar-se particular atenção à observação de tremores, convulsões, salivação, diarreia, letargia, sono e coma. O momento da morte deve ser registado com uma exactidão tão grande quanto possível. Os animais que morrem durante o ensaio e os que sobrevivem até ao fim do ensaio são submetidos a autópsia. Deverão ser registadas todas as modificações patológicas. Sempre que for aconselhável deverão ser preparadas amostras dos tecidos para exame histopatológico.

Avaliação da toxicidade no outro sexo

Depois de se ter completado o estudo relativamente a um dos sexos, submete-se a ensaio pelo menos um grupo de cinco animais do sexo oposto para se verificar se os animais desse sexo não são nitidamente mais sensíveis à substância de ensaio. Em circunstâncias individuais pode justificar-se a utilização de menos animais. No caso de existir informação adequada disponível suficiente para demonstrar que os animais do sexo testado são nitidamente mais sensíveis, é dispensável proceder a ensaios com animais do outro sexo.

2. RESULTADOS

Os resultados deverão ser resumidos em quadros indicando-se para cada grupo de experiência o número de animais no início do teste, o momento da morte de cada animal, o número de animais que exibem outras manifestações de toxicidade, a descrição dos efeitos tóxicos e os resultados da autópsia. Os pesos de cada animal deverão ser determinados e registados imediatamente antes da administração da substância de ensaio, decorrida uma semana e no momento da morte; as variações de peso deverão ser calculadas e registadas quando o período de sobrevivência exceder um dia. Procede-se ao registo dos animais que tiverem que ser sacrificados devido à dor e à angústia provocados pela substância procedendo-se de igual modo para as mortes provocadas pela substância. O valor DL_{50} pode ser determinado por um método reconhecido.

A avaliação dos resultados deverá incluir a relação, se existir, entre a exposição dos animais à substância de ensaio e a incidência e gravidade de todas as anormalidades, incluindo as anomalias de comportamento e clínicas, as lesões graves, as modificações do peso do corpo, a mortalidade e quaisquer outros efeitos toxicológicos.

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

- espécies, estirpe, origem, condições ambientais, dieta, etc.,
- condições experimentais (incluindo o método de limpeza da pele e tipo de gaze: oclusiva ou não oclusiva),
- níveis de dosagem (com veículo, no caso de este ser utilizado, e as concentrações),
- sexo dos animais submetidos à experiência,
- quadros com os dados de resposta por sexo e por valores de dosagem (isto é, número de animais que morreram ou que foram sacrificados durante os ensaios, número de animais que apresentam manifestações de toxicidade, número de animais expostos),
- momento da morte após a administração da dose, razões e critérios utilizados para o sacrifício dos animais,
- todas as observações,
- valor DL_{50} para o grupo do sexo submetido ao estudo completo ao longo do período de 14 dias (especificando-se o método de determinação),
- intervalo de confiança a 95 % para o valor DL_{50} (no caso de ser possível obter esse valor),
- curva dose/mortalidade e seu declive (no caso de isto ser possível com o método de determinação),
- resultados da autópsia,
- quaisquer resultados das observações histopatológicas,
- resultados de qualquer ensaio efectuado sobre o outro sexo,
- discussão dos resultados (deve prestar-se particular atenção ao efeito que o sacrifício dos animais durante o ensaio pode ter sobre o valor DL_{50} calculado),
- interpretação dos resultados.

3.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B (ponto D).

4. **REFERÊNCIAS**

Ver Introdução Geral, parte B (ponto E).

B.4. TOXICIDADE AGUDA: IRRITAÇÃO/CORROSÃO DÉRMICA

1. MÉTODO

O presente método baseia-se na publicação OECD TG 404 (2002) (normas de ensaio da OCDE).

1.1. INTRODUÇÃO

Na preparação do presente método otimizado foi dada especial atenção aos possíveis melhoramentos através da avaliação de toda a informação já existente sobre a substância de ensaio, de modo a evitar testes desnecessários em animais de laboratório e assim ter em consideração a problemática da protecção dos animais. O presente método inclui a recomendação de se levar a cabo uma análise da importância das provas de todos os dados relevantes existentes antes de se efectuar o ensaio *in vivo* descrito para irritação/corrosão pela substância. No caso de não se encontrarem disponíveis dados suficientes, estes podem ser obtidos através da aplicação de ensaios sequenciais (1). A estratégia de ensaio recomendada inclui a execução de ensaios *in vitro* validados e aceites e é fornecida como anexo ao presente método. Além disso, quando for apropriado, recomenda-se a aplicação sucessiva (não simultânea) de três pensos de ensaio ao animal no ensaio *in vivo* inicial.

Tendo em consideração o interesse científico e a protecção dos animais, não devem ser efectuados ensaios *in vivo* até se proceder a uma avaliação de todos os dados disponíveis relevantes à potencial corrosibilidade/irritabilidade dérmica de uma substância mediante uma análise de importância das provas. Os dados devem incluir resultados de estudos em humanos e/ou animais de laboratório, provas de corrosibilidade/irritabilidade de uma ou mais substâncias estruturalmente relacionadas, ou de misturas dessas substâncias, dados que demonstrem elevada acidez ou alcalinidade da substância (2) (3) e resultados de ensaios *in vitro* ou *ex vivo* validados e aceites (4) (5) (5a). Esta análise deve reduzir a necessidade de ensaios *in vivo* da corrosibilidade/irritabilidade dérmica de substâncias para as quais já existem dados suficientes provenientes de outros estudos em relação a estes dois factores.

Junta-se em anexo ao presente método uma estratégia de ensaio sequencial preferível, que inclui a execução de ensaios validados e aceites *in vitro* ou *ex vivo* para irritação/corrosão. A estratégia foi desenvolvida num grupo de trabalho (*workshop*) da OCDE (6), no qual foi recomendada por unanimidade dos participantes, tendo sido adoptada como estratégia de ensaio recomendada pelo sistema harmonizado a nível mundial para a classificação de substâncias químicas (GHS) (7). Apesar de esta estratégia de ensaio sequencial não ser parte integrante do método de ensaio B.4, recomenda-se que a mesma seja adoptada antes da realização de ensaios *in vivo*. No caso de novas substâncias recomenda-se uma metodologia de ensaio por etapas para a obtenção de dados científicos sobre a corrosibilidade/irritabilidade da substância. No caso de substâncias já existentes, mas cujos dados insuficientes sobre irritação/corrosão dérmica são insuficientes, recomenda-se a adopção desta estratégia para a obtenção dos dados em falta. Caso se opte por uma estratégia ou procedimento de ensaio diferente ou se decida não aplicar uma metodologia de ensaio por etapas, deve apresentar-se uma justificação para a opção feita.

Um ensaio *in vivo*, apenas deve ser considerado caso não seja possível determinar a corrosibilidade, ou a irritabilidade, através da análise de importância das provas e de acordo com a estratégia de ensaio sequencial (ver anexo).

1.2. DEFINIÇÕES

Irritação dérmica: consiste na produção de danos reversíveis na pele após a aplicação da substância de ensaio, por um período não superior a quatro horas.

Corrosão dérmica: consiste na produção de danos irreversíveis na pele — por exemplo, necrose visível através da epiderme e que atinge a derme, após a aplicação de uma substância de ensaio por um período não superior a quatro horas. As reacções corrosivas típicas são úlceras, sangramento, crostas ensanguentadas e, após o período de observação de 14 dias, empalidecimento devido à descoloração da pele, áreas alargadas de alopecia e cicatrizes. Deve ser considerada uma análise histopatológica na avaliação de lesões duvidosas.

1.3. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

A substância de ensaio é aplicada em dose única na pele de um animal de experiência; as áreas de pele não tratadas do animal de experiência são utilizadas como controlo. O grau de irritação/corrosão é observado e registado em intervalos determinados e detalhadamente descrito de modo a permitir uma avaliação completa dos efeitos. A duração do estudo deve ser suficiente para avaliar a reversibilidade ou irreversibilidade dos efeitos observados.

Os animais que apresentarem sinais de se encontrarem em grave perigo e/ou apresentarem sinais de dor durante qualquer das etapas do ensaio devem ser abatidos e a substância deve ser classificada de acordo com estas observações. Os critérios para a decisão de abater animais moribundos e animais em grave sofrimento podem ser consultados na referência (8).

1.4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.4.1. **Preparação do ensaio *in vivo***

1.4.1.1. *Seleção de espécies animais*

O coelho albino é o animal de laboratório mais adequado, devendo ser usados coelhos jovens adultos saudáveis. A utilização de outras espécies deve ser justificada.

1.4.1.2. *Preparação dos animais*

Aproximadamente 24 horas antes do ensaio, o pêlo deve ser removido por corte curto da área dorsal do tronco dos animais. Deve ter-se o cuidado de não ferir a pele do animal e só devem ser usados animais com pele saudável e intacta.

Algumas estirpes de coelhos têm tufo densos de pêlo, que são mais proeminentes em certas épocas do ano. Estas áreas de crescimento denso de pêlo não devem ser utilizadas como local de ensaio.

1.4.1.3. *Condições de alojamento e alimentação*

Os animais devem ser alojados individualmente. A temperatura do biotério para os coelhos deve ser de 20°C ($\pm$ 3°C). Embora a humidade relativa deva ser de pelo menos 30 % e de preferência não exceder os 70 %, excepto durante o período de limpezas, o valor pretendido deve ser de 50 %-60 %. A iluminação deve ser artificial, com uma sequência de 12 horas de luz seguida de uma de 12 horas de escuridão. Na alimentação, podem ser utilizadas dietas convencionais de laboratório e deve ser fornecida água de beber sem restrições.

1.4.2. **Protocolo de ensaio**

1.4.2.1. *Aplicação da substância de ensaio*

A substância de ensaio deve ser aplicada numa pequena área de pele (aproximadamente 6 cm²) e coberta com um penso de gaze, colado com fita adesiva não irritante. Nos casos em que não é possível aplicação directa (por exemplo, líquidos e algumas pastas), a substância de ensaio deve ser aplicada num penso de gaze, que é, por sua vez, aplicado à pele. Durante o período de exposição, o penso deve estar em contacto com a pele de uma forma ligeiramente solta através de uma ligadura semioclusiva adequada. Se a substância de ensaio for aplicada num penso, este deve ser mantido sobre a pele de modo a assegurar um bom contacto e uma distribuição uniforme da substância na pele. Deve ser evitado o acesso do animal ao penso e a ingestão ou inalação da substância de ensaio.

As substâncias de ensaio líquidas são geralmente utilizadas sem diluição. Quando se ensaiam sólidos (que podem ser pulverizados, caso tal seja considerado necessário), a substância de ensaio deve ser humedecida com a menor quantidade de água (ou, se necessário, com outro excipiente adequado) suficiente para assegurar um bom contacto com a pele. No caso de serem utilizados excipientes que não água, a influência potencial do excipiente na irritação da pele pela substância de ensaio deve ser mínima ou nula.

No final do período de exposição, que é normalmente de quatro horas, a substância de ensaio residual deve ser removida, caso tal seja praticável, utilizando água ou um solvente apropriado, que não altere a resposta ou a integridade da epiderme.

1.4.2.2. *Nível de dosagem*

Aplica-se ao local de ensaio uma dose de 0,5 ml de líquido ou de 0,5 g de sólido ou pasta.

1.4.2.3. *Ensaio inicial (ensaio *in vivo* de irritação/corrosão dérmica utilizando um animal)*

Recomenda-se vivamente que o ensaio *in vivo* seja efectuado inicialmente utilizando apenas um animal, sobretudo quando se suspeita que a substância é potencialmente corrosiva. Tal procedimento está em conformidade com a estratégia de ensaio sequencial (ver anexo 1).

No caso de uma substância ter sido considerada corrosiva com base numa análise de importância das provas, não são necessários ensaios adicionais em animais. Para a maior parte das substâncias que se suspeite serem corrosivas, não são normalmente necessários ensaios *in vivo* adicionais. No entanto, nos casos em que, devido a insuficiência de provas, se considere necessária a obtenção de dados adicionais, pode ser efectuado um número restrito de ensaios em animais utilizando a seguinte metodologia: aplicação sequencial de até três pensos de

ensaio ao animal. O primeiro penso é removido após três minutos. Caso não se observe qualquer reacção grave na pele, aplica-se um segundo penso, que é removido ao fim de uma hora. Se nesta etapa as observações indicarem que se pode aumentar o tempo de exposição para quatro horas em condições não agressivas para o animal, aplica-se um terceiro penso, que é removido após quatro horas, sendo a resposta devidamente graduada.

Caso seja observado um efeito corrosivo após qualquer das três exposições sequenciais, o ensaio é imediatamente finalizado. Caso não se observe qualquer efeito corrosivo após a remoção do último penso, o animal é observado durante 14 dias, excepto se desenvolver corrosão antes do final desse período.

Nos casos em que a substância de ensaio não seja susceptível de provocar corrosão, mas que possa ser irritante, deve ser aplicado um único penso a um animal durante quatro horas.

1.4.2.4. *Ensaio de confirmação (ensaio in vivo de irritação dérmica com animais adicionais)*

Se não for observado um efeito corrosivo no ensaio inicial, a resposta irritante ou negativa deve ser confirmada utilizando até dois animais adicionais, cada um com um penso e por um período de exposição de quatro horas. Se for observado um efeito irritante no ensaio inicial, o ensaio de confirmação pode ser efectuado de uma forma sequencial ou através da exposição simultânea de dois animais adicionais. No caso excepcional de não ser efectuado um ensaio inicial, podem tratar-se dois ou três animais com um penso único, que é removido quatro horas após a aplicação. No caso de se utilizarem dois animais e ambos apresentarem a mesma resposta, não é necessário efectuar mais ensaios. Caso contrário, o terceiro animal é igualmente ensaiado. Pode ser necessária a utilização de animais adicionais para confirmar respostas equívocas.

1.4.2.5. *Período de observação*

O período de observação deve ter uma duração suficiente para uma avaliação completa da reversibilidade dos efeitos observados. No entanto, a experiência deve ser interrompida em qualquer altura caso o animal apresente sintomas continuados de dor intensa ou de se encontrar em situação de perigo. Para a determinação da reversibilidade dos efeitos, os animais devem ser observados durante 14 dias após a remoção dos pensos. No caso de se observar reversibilidade antes do fim do período de 14 dias, deve interromper-se a experiência.

1.4.2.6. *Observações clínicas e graduação das reacções da pele*

Todos os animais devem ser examinados para sintomas de eritema e edema, sendo as respostas avaliadas aos 60 minutos e às 24, 48 e 72 horas após a remoção do penso. No ensaio inicial com um animal, o local de ensaio é igualmente examinado imediatamente após a remoção do penso. As reacções dérmicas são graduadas e registadas de acordo com a graduação da tabela infra. Caso ocorram danos na pele que não possam ser identificados como irritação ou corrosão após 72 horas, pode ser necessário efectuar observações até ao dia 14 para determinar a reversibilidade dos efeitos. Além da observação de irritação, todos os efeitos tóxicos locais, tais como perda de gordura cutânea e quaisquer efeitos sistémicos adversos (por exemplo, efeitos em sintomas de toxicidade e efeitos no peso corporal), devem ser descritos e registados pormenorizadamente. Poderá ser efectuado um exame histopatológico para clarificar respostas equívocas.

A graduação das respostas dérmicas é necessariamente subjectiva. O pessoal que executa as observações deve ser treinado adequadamente no sistema de graduação utilizado (ver tabela infra) para se promover a harmonização da graduação da resposta dérmica e auxiliar os laboratórios de ensaio e as pessoas envolvidas na obtenção e interpretação das observações. Poderá ser útil a consulta de um guia ilustrado para graduação da irritação dérmica e outras lesões (9).

2. **DADOS**

2.1. **TRATAMENTO DOS RESULTADOS**

Os resultados do estudo devem ser resumidos sob a forma de tabela no relatório final de ensaio e devem abranger todos os itens descritos na secção 3.1.

2.2. **ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Os resultados de irritação dérmica devem ser avaliados conjuntamente com a natureza e a gravidade das lesões e a sua reversibilidade ou ausência de reversibilidade. As respostas individuais não representam um padrão absoluto das propriedades irritantes do material, já que são também avaliados outros efeitos do material de ensaio. Pelo contrário, os resultados individuais devem ser encarados como valores de referência, que necessitam de ser avaliados conjuntamente com todas as outras observações efectuadas durante o estudo.

Deve ser considerada a reversibilidade das lesões dérmicas na avaliação da resposta irritante. Nos casos em que ocorrerem respostas como alopecia (área limitada), hiperqueratose, hiperplasia e descamação persistentes no final do período de 14 dias de observação, a substância de ensaio deve ser considerada irritante.

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deverá incluir as seguintes informações:

Fundamentação lógica para o ensaio *in vivo*: análise de importância das provas dos dados de ensaio preexistentes, incluindo os resultados da estratégia de ensaio sequencial:

- descrição dos dados relevantes disponíveis de ensaios anteriores;
- dados obtidos em cada etapa da estratégia de ensaio;
- descrição dos ensaios *in vitro* efectuados, incluindo detalhes sobre o protocolo, resultados obtidos com substâncias de ensaio/referência;
- análise de importância das provas para a realização do estudo *in vivo*.

Substância de ensaio:

- dados de identificação (por exemplo, número CAS, origem, grau de pureza, impurezas conhecidas, número de lote);
- natureza física e propriedades físico-químicas (por exemplo, pH, volatilidade, solubilidade, estabilidade);
- no caso de misturas, composição e percentagens relativas dos componentes.

Excipiente:

- identificação, concentração (quando apropriado), volume utilizado;
- justificação para a escolha do excipiente.

Animais de ensaio:

- espécie/estirpe utilizada, fundamentação lógica para a utilização de outro tipo de animais que não coelhos albinos;
- número de animais de cada sexo;
- peso individual dos animais no início e no final do ensaio;
- idade no início do estudo;
- origem dos animais, condições de alojamento, dieta, etc.

Condições do ensaio:

- técnica de preparação do local de aplicação do penso;
- descrição pormenorizada dos materiais utilizados no penso e da técnica de aplicação do penso;

- descrição pormenorizada da preparação, aplicação e remoção da substância de ensaio.

Resultados:

- tabelas com a classificação das respostas de irritação/corrosão para cada animal em cada observação;
- descrição de todas as lesões observadas;
- descrição pormenorizada da natureza e grau da irritação ou corrosão observadas e de quaisquer observações histopatológicas;
- descrição de quaisquer outros efeitos adversos locais (por exemplo, perda de gordura cutânea) e efeitos sistémicos, além da irritação ou corrosão dérmica.
- Análise dos resultados.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Barratt, M.D., Castell, J.V., Chamberlain, M., Combes, R.D., Dearden, J.C., Fentem, J.H., Gerner, I., Giuliani, A., Gray, T.J.B., Livingston, D.J., Provan, W.M., Rutten, F.A.J.J.L., Verhaar, H.J.M., Zbinden, P. (1995) The Integrated Use of Alternative Approaches for Predicting Toxic Hazard. ECVAM Workshop Report 8. ATLA 23, p. 410-429.
- (2) Young, J.R., How, M.J., Walker, A.P., Worth W.M.H. (1988) Classification as Corrosive or Irritant to Skin of Preparations Containing Acidic or Alkaline Substance Without Testing on Animals. *Toxicology In Vitro*, 2, p. 19-26.
- (3) Worth, A.P., Fentem, J.H., Balls, M., Botham, P.A., Curren, R.D., Earl, L.K., Eadsail, D.J., Liebsch, M. (1998) Evaluation of the proposed OECD Testing Strategy for skin corrosion. ATLA 26, p. 709-720.
- (4) ECETOC (1990) Monograph No 15, «Skin Irritation», European Chemical Industry, Ecology and Toxicology Centre, Brussels.
- (5) Fentem, J.H., Archer, G.E.B., Balls, M., Botham, P.A., Curren, R.D., Earl, L.K., Eadsail, D.J., Holzhutter, H.G. and Liebsch, M. (1998) The ECVAM international validation study on in vitro tests for skin corrosivity. 2. Results and evaluation by the Management Team. *Toxicology In Vitro* 12, p. 483-524.
- (5a) Método de Ensaio B.40. Corrosão dérmica.
- (6) OECD (1996) OECD Test Guidelines Programme: Final Report of the OECD Workshop on Harmonisation of Validation and Acceptance Criteria for Alternative Toxicological Test Methods. Held in Solna, Sweden, 22-24 January 1996 (<http://www.oecd1.org/ehs/test/background.htm>).
- (7) OECD (1998) Harmonized Integrated Hazard Classification System for Human Health and Environmental Effects of Chemical Substances, as endorsed by the 28th Joint Meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals, November 1998 (<http://www.oecd1.org/ehs/Class/HCL6.htm>).
- (8) OECD (2000). Guidance Document on the Recognition, Assessment and Use of Clinical Signs as Humane Endpoints for Experimental Animals Used in Safety Evaluation. OECD Environmental Health and Safety Publications. Series on Testing and Assessment No 19 (<http://www.oecd1.org/ehs/test/monos.htm>).
- (9) EPA (1990). Atlas of Dermal Lesions, (20T-2004). United States Environmental Protection Agency, Office of Pesticides and Toxic Substances, Washington, DC, August 1990.

[Disponível no Secretariado da OCDE.]

Tabela I

GRADUAÇÃO DE REACÇÕES DÉRMICAS**Formação de eritema e escara**

Ausência de eritema	0
Eritema muito ligeiro (fracamente discernível)	1
Eritema bem definido	2
Eritema moderado a grave	3
Eritema grave (vermelhidão cor de carne) e formação de escara que impede a graduação do eritema	4

Máximo possível: 4

Formação de edema

Ausência de edema	0
Edema muito ligeiro (fracamente discernível)	1
Edema ligeiro (bordos da área bem definidos por elevação delineada)	2
Edema moderado (com uma elevação de aproximadamente 1 mm)	3
Edema grave (com uma elevação superior a 1 mm e excedendo a área de exposição)	4

Máximo possível: 4

Poderá ser efectuado um exame histopatológico para clarificar respostas equívocas.

ANEXO

Uma estratégia de ensaio sequencial para a irritação e corrosão dérmica

CONSIDERAÇÕES GERAIS

No sentido de atender aos interesses quer científicos, quer da protecção dos animais, torna-se importante evitar o uso desnecessário de animais e minimizar os ensaios que possam causar reacções graves em animais. Deve ser avaliada toda a informação sobre a substância que seja relevante para a sua potencial capacidade irritante/corrosibilidade dérmica antes de se considerarem os ensaios *in vivo*. É possível que existam já dados suficientes para classificar a substância de ensaio segundo o seu potencial irritante ou corrosivo dérmico, sem necessidade de recorrer a ensaios em animais de laboratório. Assim, a utilização de uma análise de importância das provas e de uma estratégia de ensaio sequencial minimizará a necessidade de ensaios *in vivo*, especialmente no caso de substâncias com elevada probabilidade de produzirem reacções graves.

Recomenda-se a utilização da análise de importância das provas para avaliar a informação existente sobre irritação e corrosão dérmica de substâncias, a fim de determinar a necessidade de se efectuarem estudos adicionais, diferentes dos estudos dérmicos *in vivo*, que sejam úteis para caracterizar o referido potencial. No caso de serem necessários estudos adicionais, recomenda-se a utilização de uma estratégia de ensaio sequencial para a obtenção dos dados experimentais relevantes. No caso de substâncias para as quais não exista nenhuma história de ensaios, deve ser utilizada a estratégia de ensaio sequencial para a obtenção dos dados necessários para avaliar a sua irritação/corrosão dérmica. A estratégia de ensaio descrita no presente anexo foi desenvolvida num grupo de trabalho (*workshop*) da OCDE (1). Foi subsequentemente confirmada e ampliada no sistema harmonizado e integrado de classificação de perigos para a saúde humana e efeitos ambientais de substâncias químicas, tal como foi aprovado pela 28.^a sessão conjunta do comité das substâncias químicas e do grupo de trabalho de substâncias químicas, em Novembro de 1998 (2).

Apesar da presente estratégia de ensaio não fazer parte integrante do método de ensaio B.4, ela expressa a metodologia recomendada para a determinação das características de irritação/corrosão dérmica. Esta metodologia representa não só a melhor prática como também um ponto de referência ético para o ensaio *in vivo* para irritação/corrosão dérmica. O método de ensaio fornece uma orientação para a realização do ensaio *in vivo* e resume os factores que devem ser considerados antes de ponderar a execução deste ensaio. A estratégia fornece uma metodologia para a avaliação dos dados existentes sobre as propriedades de irritação/corrosão dérmica de substâncias de ensaio e uma metodologia em séries para a obtenção de dados relevantes sobre substâncias para as quais sejam necessários estudos adicionais ou não tenham sido efectuados quaisquer estudos. Também se recomenda a realização de ensaios *in vitro* ou *ex vivo* validados e aceites para o estudo de irritação/corrosão dérmica em circunstâncias específicas.

DESCRIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE AVALIAÇÃO E ENSAIO

Antes da realização dos ensaios como parte da estratégia de ensaio sequencial (figura), deve ser avaliada toda a informação disponível de modo a determinar a necessidade de realização de ensaios dérmicos *in vivo*. Apesar de ser possível obter informação significativa a partir da avaliação de um só parâmetro (por exemplo, pH extremo), deve ser avaliada a totalidade da informação existente. Para uma decisão baseada na análise da importância das provas, devem ser avaliados todos os dados relevantes sobre os efeitos da substância em causa ou dos seus análogos estruturais, e deve apresentar-se uma justificação fundamentada para a decisão tomada. Deve dar-se especial relevância aos dados existentes sobre a substância relativamente a humanos e animais e, em seguida, aos resultados dos ensaios *in vitro* ou *ex vivo*. Sempre que possível, devem ser evitados estudos *in vivo* de substâncias corrosivas. Os factores considerados na estratégia de ensaio incluem:

Avaliação dos dados existentes sobre humanos e animais (etapa 1). Devem considerar-se em primeiro lugar os dados existentes sobre humanos — por exemplo, estudos clínicos e ocupacionais, relatórios de casos clínicos e/ou dados de ensaios em animais como, por exemplo, dados obtidos em estudos de toxicidade de exposição dérmica simples ou repetida — já que estes dados fornecem informação directamente relacionada com os efeitos na pele. As substâncias que apresentem capacidade irritante ou corrosiva conhecidas, assim como aquelas para as quais existem dados claros de não serem corrosivas nem irritantes, não necessitam de ser ensaiadas em estudos *in vivo*.

Análise de relações estrutura-actividade (SAR) (etapa 2). Devem ser considerados os resultados de ensaios de substâncias químicas estruturalmente semelhantes desde que se encontrem disponíveis. No caso de existirem dados suficientes sobre humanos e/ou animais relativos aos efeitos de substâncias estruturalmente semelhantes, ou misturas deste tipo de substâncias, indicativos do seu potencial de irritação/corrosão dérmica, pode presumir-se que a substância de ensaio em avaliação produzirá as mesmas respostas. Nestes casos, poderá não ser necessário proceder a ensaios da substância de ensaio. Os dados negativos obtidos de estudos de substâncias estruturalmente semelhantes ou misturas dessas substâncias não constituem prova suficiente de não corrosibilidade/não irritabilidade da substância segundo a estratégia de ensaio sequencial. Devem ser utilizadas abordagens de SAR validadas e aceites para identificação do potencial de irritação e de corrosão dérmica.

Propriedades físico-químicas e reactividade química (etapa 3). As substâncias que apresentam um pH extremo, tal como $\leq 2,0$ ou $\geq 11,5$, podem ter efeitos locais fortes. Se o pH extremo servir como base de identificação da substância como corrosiva para a pele, a sua reserva ácida/alcalina (ou poder tampão) deve ser também tida em consideração (3) (4). Se o poder tampão indicar que a substância pode não ser corrosiva para a pele, devem ser efectuados ensaios adicionais para confirmar esta indicação, de preferência utilizando ensaios *in vitro* ou *ex vivo* validados e aceites (ver etapas 5 e 6).

Toxicidade dérmica (etapa 4). Caso se tenha provado que uma substância química é muito tóxica por via dérmica, pode não ser exequível um estudo *in vivo* de irritação/corrosão dérmica por a quantidade de substância de ensaio normalmente aplicada poder exceder a dose muito tóxica, resultando consequentemente na morte ou em sofrimento grave dos animais. Além disso, pode não ser necessário efectuar ensaios dérmicos de irritação/corrosão adicionais quando os estudos de toxicidade dérmica utilizando coelhos albinos tenham sido efectuados até um nível de dosagem limite de 2 000 mg/kg de peso corporal ou superior e não tenha sido observada qualquer irritação ou corrosão dérmica. Deve ter-se em conta uma série de considerações aquando da avaliação da toxicidade dérmica aguda em estudos efectuados anteriormente. Por exemplo, a informação contida no relatório sobre lesões dérmicas pode estar incompleta. Os ensaios e as observações podem ter sido efectuados noutra espécie que não o coelho, podendo as várias espécies diferir grandemente na sensibilidade das respostas apresentadas. A forma como a substância de ensaio foi aplicada aos animais pode não ter sido adequada à avaliação da irritação/corrosão da pele [por exemplo, diluição das substâncias para ensaio da toxicidade dérmica (5)]. No entanto, nos casos em que os estudos de toxicidade dérmica em coelhos foram projectados e efectuados correctamente, os resultados negativos podem ser considerados prova suficiente de que a substância não é irritante nem corrosiva.

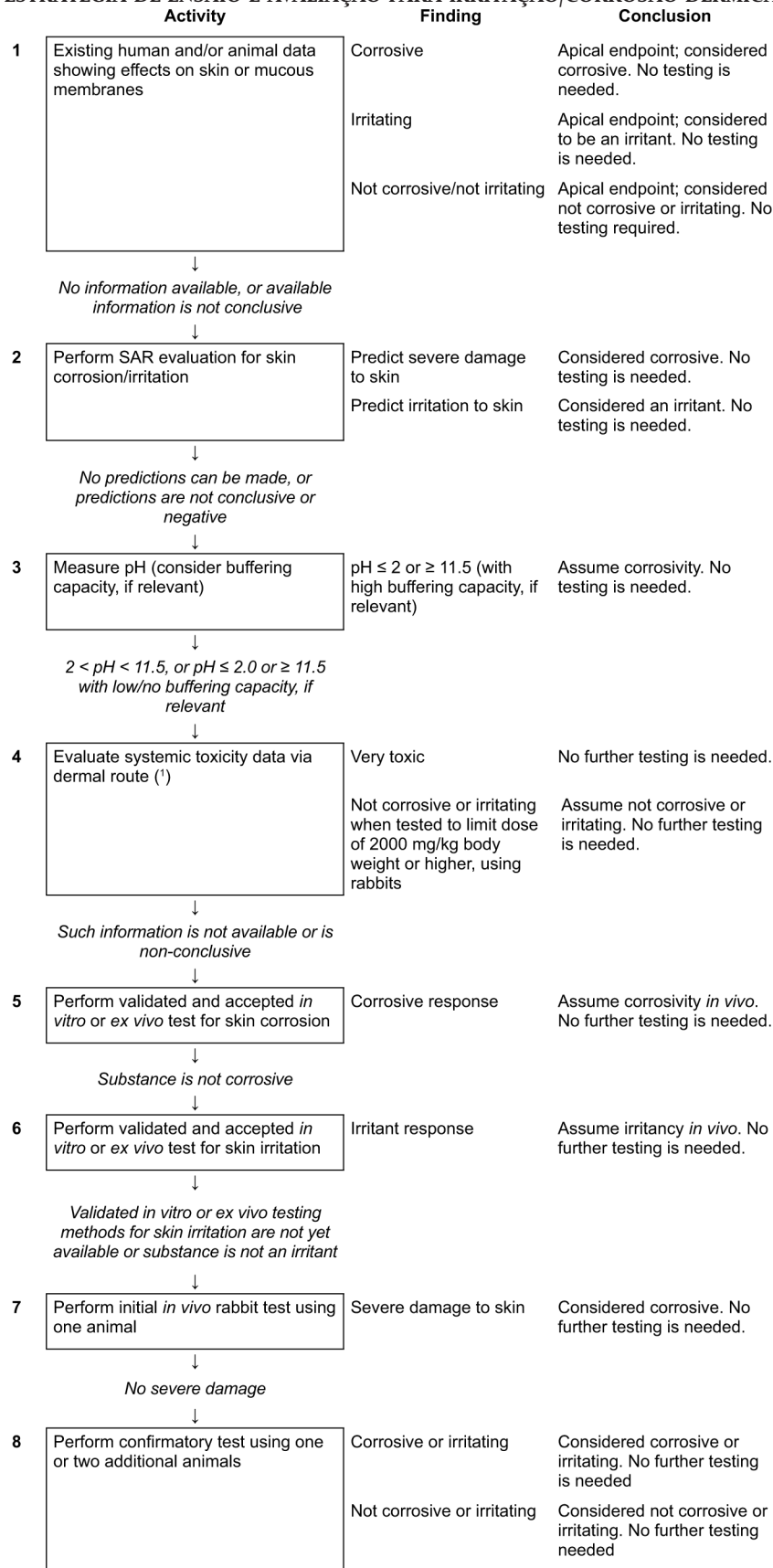
Resultados de ensaios in vitro ou ex vivo (etapas 5 e 6). Não é necessário proceder a ensaios em animais com substâncias que tenham apresentado propriedades corrosivas ou de irritação grave num ensaio *in vitro* ou *ex vivo* validado e aceite (6) (7) que tenha sido desenvolvido para avaliar especificamente estes efeitos. Pode considerar-se que tais substâncias produzirão efeitos graves semelhantes *in vivo*.

Ensaio in vivo em coelhos (etapas 7 e 8). Caso seja tomada a decisão de efectuar um ensaio *in vivo* com base numa análise da importância das provas, este deve começar por um ensaio inicial usando um animal. Se os resultados deste ensaio indicarem que a substância é corrosiva para a pele, não devem ser efectuados outros ensaios. Se o ensaio inicial não revelar quaisquer efeitos corrosivos, a resposta irritante ou negativa deve ser confirmada utilizando até dois animais adicionais com um período de exposição de quatro horas. No caso de se observar um efeito irritante no ensaio inicial, o ensaio de confirmação deve ser efectuado de uma forma sequencial ou através da exposição de dois animais adicionais simultaneamente.

REFERÊNCIAS

- (1) OECD, (1996) Test Guidelines Programme: Final Report on the OECD Workshop on Harmonization of Validation and Acceptance Criteria for Alternative Toxicological Test Methods. Held on Solna, Sweden, 22-24 January 1996 (<http://www1.oecd.org/ehs/test/background.htm>).
- (2) OECD, (1998) Harmonized Integrated Hazard Classification System for Human Health and Environmental Effects of Chemical Substances, as endorsed by the 28th Joint Meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals, November 1998 (<http://www1.oecd.org/ehs/Class/HCL6.htm>).
- (3) Worth, A.P., Fentem J.H., Balls M., Botham P.A., Curren R.D., Earl L.K., Esdaile D.J., Liebsch M., (1998) An Evaluation of the Proposed OECD Testing Strategy for Skin Corrosion. *ATLA* 26, p. 709-720.
- (4) Young, J.R., How, M.J., Walker, A.P., Worth, W.M.H., (1988). Classification as Corrosive or Irritant to Skin of Preparations Containing Acidic or Alkaline Substances, Without Testing on Animals. *Toxicology In Vitro*, 2(1), p. 19-26.
- (5) Patil, S.M., Patrick, E., Maibach, H.I., (1996) Animal, Human, and *In Vitro* Test Methods for Predicting Skin Irritation, in: Francis N. Marzulli and Howard I. Maibach (editors): *Dermatotoxicology*. Fifth Edition ISBN 1-56032-356-6, Chapter 31, p. 411-436.
- (6) Método de Ensaio B.40.
- (7) Fentem, J.H., Archer, G.E.B., Balls, M., Botham, P.A., Curren, R.D., Earl, L.K., Esdaile, D.J., Holzhtutter, H.G. and Liebsch, M., (1998) The ECVAM international validation study on *in vitro* tests for skin corrosivity. 2. Results and evaluation by the Management Team. *Toxicology In Vitro* 12, p. 483-524.

Figura

ESTRATÉGIA DE ENSAIO E AVALIAÇÃO PARA IRRITAÇÃO/CORROSÃO DÉRMICA

(*) can be considered before Steps 2 and 3.

B.5. TOXICIDADE AGUDA: IRRITAÇÃO/CORROSÃO OCULAR**1. MÉTODO**

O presente método baseia-se na publicação OECD TG 405 (2002) (normas de ensaio da OCDE).

1.1. INTRODUÇÃO

Na preparação do presente método otimizado foi dada especial importância aos possíveis melhoramentos resultantes da avaliação de toda a informação já existente sobre a substância de ensaio, de modo a evitar ensaios desnecessários em animais de laboratório e assim ter em consideração a problemática da protecção dos animais. O presente método inclui a recomendação de se efectuar uma análise da importância das provas (1) dos dados relevantes existentes antes de se efectuar o ensaio *in vivo* descrito para irritação/corrosão ocular aguda. No caso de não se encontrarem disponíveis dados suficientes, recomenda-se a obtenção desses dados através da aplicação de ensaios sequenciais (2) (3). A estratégia de ensaio recomendada inclui a execução de ensaios *in vitro* validados e aceites e é fornecida como anexo ao método de ensaio. Além disso, recomenda-se o uso de um ensaio *in vivo* de irritação/corrosão dérmica para previsão da corrosão ocular antes de se considerar um ensaio ocular *in vivo*.

Tendo em consideração o interesse científico e a protecção dos animais, não devem ser considerados ensaios *in vivo* até se proceder a uma avaliação de todos os dados disponíveis relevantes à potencial corrosibilidade/capacidade irritante ocular de uma substância para uma análise da importância das provas. Os dados devem incluir provas de estudos existentes em humanos e/ou animais de laboratório, provas de corrosibilidade/capacidade irritante de uma ou mais substâncias estruturalmente relacionadas, ou de misturas dessas substâncias, dados que demonstrem elevada acidez ou alcalinidade da substância (4) (5) e resultados de ensaios *in vitro* ou *ex vivo*, validados e aceites, para corrosão e irritação da pele (6) (6a). Estes estudos podem ter sido efectuados previamente ou como resultado de uma análise de importância das provas.

Uma análise deste tipo pode indicar, para algumas substâncias, a necessidade de estudos *in vivo* do potencial de irritação/corrosão ocular da substância. Em todos estes casos, antes de considerar a utilização de um ensaio ocular *in vivo*, deve efectuar-se preferencialmente um estudo *in vivo* prévio sobre os efeitos dérmicos da substância, avaliados de acordo com o método de ensaio B.4 (7). A aplicação de uma análise de importância das provas e a estratégia de ensaio sequencial deverão reduzir a necessidade de ensaios *in vivo* para a corrosibilidade/capacidade irritante ocular de substâncias para as quais existem suficientes provas prévias de outros estudos. Caso a determinação do potencial de corrosão ou irritação ocular não possa ser efectuada utilizando a estratégia de ensaio sequencial, mesmo após a realização de um estudo *in vivo* da corrosão e irritação dérmica, pode ser efectuado um ensaio *in vivo* de irritação/corrosão ocular.

Junta-se ao anexo do presente método de ensaio uma estratégia de ensaio sequencial preferível, que inclui a execução de ensaios validados *in vitro* ou *ex vivo* para irritação/corrosão. A estratégia foi desenvolvida num grupo de trabalho (*workshop*) da OCDE (8), no qual foi recomendada por unanimidade dos participantes, tendo sido adoptada como estratégia de ensaio recomendada pelo sistema harmonizado a nível mundial para a classificação de substâncias químicas (GHS) (9). Recomenda-se que a estratégia de ensaio sequencial seja adoptada antes de realizar ensaios *in vivo*. No caso de substâncias novas, recomenda-se uma metodologia de ensaio por etapas para a obtenção de dados científicos sobre a corrosibilidade/capacidade irritante da substância. No caso de substâncias já existentes mas cujos dados sobre irritação/corrosão dérmica e ocular são insuficientes, recomenda-se a adopção desta estratégia para a obtenção dos dados em falta. Caso se opte por uma estratégia ou protocolo de ensaio diferente ou se decida não aplicar uma metodologia de ensaio por etapas, deverá apresentar-se uma justificação fundamentada.

1.2. DEFINIÇÕES

Irritação ocular: consiste na produção de alterações oculares após a aplicação de uma substância de ensaio à superfície anterior do olho, alterações essas que são completamente reversíveis no intervalo de 21 dias após a aplicação.

Corrosão ocular: consiste na produção de lesões do tecido ocular ou enfraquecimento físico grave da visão após aplicação da substância de ensaio à superfície anterior do olho, não reversíveis no intervalo de 21 dias após a aplicação.

1.3. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

A substância de ensaio é aplicada em dose única a um dos olhos do animal de experiência; o olho que não sofre tratamento é utilizado como controlo. O grau de irritação/corrosão ocular é avaliado pelas lesões de perfuração da conjuntiva, da córnea e da íris, a intervalos determinados. São também descritos outros efeitos sobre o olho e efeitos sistémicos adversos, de modo a permitir uma avaliação completa dos efeitos. A duração do estudo deve ser suficiente para avaliar a reversibilidade ou irreversibilidade dos efeitos.

Os animais que apresentem sinais continuados de se encontrarem em grave perigo e/ou apresentarem sinais de dor durante qualquer das etapas do ensaio devem ser abatidos e a substância deve ser classificada de acordo com estas observações. Os critérios para a decisão de abater animais moribundos e animais em grave sofrimento podem ser consultados na referência (10).

1.4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.4.1. **Preparação para o ensaio *in vivo***

1.4.1.1. *Seleção de espécies*

O coelho albino é o animal de laboratório mais adequado, devendo ser usados animais adultos, jovens e saudáveis. A utilização de outras estirpes ou espécies deve ser justificada.

1.4.1.2. *Preparação dos animais*

Devem examinar-se ambos os olhos do animal seleccionado provisoriamente para o ensaio 24 horas antes do início do ensaio. Não devem ser usados animais que apresentem irritação ocular, defeitos oculares ou lesão preexistente da córnea.

1.4.1.3. *Condições de alojamento e alimentação*

Os animais devem ser alojados individualmente. A temperatura do biotério para os coelhos deve ser de 20 °C ($\pm$ 3 °C). A humidade relativa deve ser no mínimo de 30 % e, preferivelmente, não exceder 70 %, excepto durante a lavagem do biotério, devendo no entanto manter-se idealmente a valores de 50 %-60 %. A iluminação deve ser artificial, com uma sequência de 12 horas de luz e 12 horas de escuridão. Como alimentação, podem ser utilizadas dietas de laboratório convencionais com fornecimento ilimitado de água para beber.

1.4.2. **Protocolo de ensaio**

1.4.2.1. *Aplicação da substância de ensaio*

A substância de ensaio deve ser colocada no saco conjuntival de um dos olhos de cada animal, depois de se ter separado cuidadosamente a pálpebra inferior do globo ocular. Fecham-se as pálpebras cuidadosamente durante cerca de um segundo de modo a evitar a perda de material. O outro olho, que permanece sem tratamento, é utilizado como controlo.

1.4.2.2. *Irrigação*

Os olhos dos animais de ensaio não devem ser lavados pelo menos nas 24 horas seguintes à instilação da substância de ensaio, excepto para o caso de sólidos (consultar a secção 1.4.2.3.2) e no caso de ocorrência imediata de efeitos corrosivos ou irritantes. Após 24 horas, desde que se considere apropriada, pode ser efectuada uma lavagem.

Não se recomenda a utilização de um grupo-satélite de animais para investigar a influência da lavagem, excepto se tal se justificar cientificamente. Se for necessário um grupo-satélite de animais, devem utilizar-se dois coelhos. As condições de lavagem devem ser cuidadosamente documentadas, por exemplo, data e hora da lavagem; composição e temperatura da solução de lavagem; duração, volume e velocidade de aplicação.

1.4.2.3. *Nível de dosagem*

1.4.2.3.1. *Ensaio de líquidos*

No caso do ensaio de líquidos, usa-se uma dose de 0,1 ml. Não devem ser utilizados nebulizadores de bomba para instilação directa da substância no olho. O nebulizado líquido deve ser expelido e recolhido num recipiente antes de se instilar 0,1 ml no olho.

1.4.2.3.2. *Ensaio de sólidos*

No caso de ensaio de substâncias sólidas, pastas ou substâncias em partículas, a quantidade usada deve ter um volume de 0,1 ml ou uma massa não superior a 100 mg. O material de ensaio deve ser pulverizado a um pó fino. O volume de material sólido deve ser medido após compactação suave, por exemplo, através de batidas do recipiente que o contém. Se ao tempo da primeira observação, 1 hora após o tratamento, a substância de ensaio sólida não tiver sido removida do olho do animal de ensaio através de mecanismos fisiológicos, o olho pode ser lavado com soro fisiológico ou água destilada.

1.4.2.3.3. *Ensaio de aerossóis*

Recomenda-se a recolha do conteúdo de todos os nebulizadores de bomba e aerossóis antes de instilação no olho. A única excepção é para substâncias em recipientes de aerossol pressurizados, que não podem ser recolhidos devido à sua vaporização. Nestes casos, deve manter-se o olho aberto e administrar-se a substância de ensaio no olho numa aplicação única de duração aproximada de um segundo, mantendo o recipiente directamente à frente do olho a uma distância de 10 cm. Esta distância pode variar em função da pressão do nebulizador e do seu conteúdo. Devem ser tomadas precauções adequadas para não danificar o olho devido à pressão do nebulizador. Em casos apropriados, pode ser necessário avaliar o potencial de lesão «mecânica» do olho pela força da nebulização.

Pode obter-se uma estimativa da dose de um aerossol através de simulação do ensaio da seguinte forma: nebuliza-se a substância para um papel de pesagem através de uma abertura do tamanho do olho de coelho, colocada directamente em frente do papel. Utiliza-se o aumento de peso do papel como uma aproximação da quantidade nebulizada para o olho. Para substâncias voláteis, a dose pode ser estimada por pesagem do recipiente de recolha antes e após a remoção do material de ensaio.

1.4.2.4. *Ensaio inicial (ensaio in vivo de irritação/corrosão ocular utilizando um animal)*

Tal como articulado na estratégia de ensaio sequencial (ver anexo 1), recomenda-se vivamente que o ensaio *in vivo* seja efectuado inicialmente utilizando um animal.

Se, utilizando o protocolo descrito, os resultados deste ensaio indicarem que a substância é corrosiva ou fortemente irritante para o olho, não devem ser efectuados outros ensaios de irritação ocular.

1.4.2.5. *Anestesia local*

A utilização de anestesia local pode ser feita, mas analisando a sua necessidade caso a caso. Se a análise de importância das provas indicar que a substância pode causar dor ou se os ensaios iniciais revelarem ocorrência de reacção dolorosa, pode utilizar-se um anestésico local antes da instilação da substância de ensaio. A selecção do tipo, concentração e dose de anestésico local deve ser feita cuidadosamente de modo a assegurar que a sua utilização não altere a reacção à substância de ensaio. O olho de controlo deve ser anestesiado de igual forma.

1.4.2.6. *Ensaio de confirmação (ensaio in vivo de irritação ocular com animais adicionais)*

Se não for observado um efeito corrosivo no ensaio inicial, a resposta irritante ou negativa deve ser confirmada utilizando até dois animais adicionais. Se for observado no ensaio inicial um efeito francamente irritante, indicativo de um efeito possivelmente forte (irreversível) no ensaio de confirmação, recomenda-se que se efectue o ensaio de confirmação de uma forma sequencial num animal de cada vez, em vez de expor dois animais adicionais simultaneamente. Se o segundo animal apresentar efeitos corrosivos ou fortemente irritantes, não se deve continuar o ensaio. Pode ser necessária a utilização de animais adicionais para confirmar respostas de irritação fracas ou moderadas.

1.4.2.7. *Período de observação*

A duração do período de observação deve ser suficiente para uma avaliação completa da magnitude e reversibilidade dos efeitos observados. No entanto, a experiência deve ser interrompida em qualquer altura se o animal apresentar sintomas continuados de dor intensa ou de se encontrar em situação de perigo (9). Para a determinação da reversibilidade dos efeitos, os animais devem ser examinados normalmente durante 21 dias após a administração da substância de ensaio. No caso de se observar reversibilidade antes do fim do período de 21 dias, deve interromper-se a experiência.

1.4.2.7.1. *Observações clínicas e graduação das reacções oculares*

Os olhos devem ser examinados 1, 24, 48 e 72 horas após a aplicação da substância de ensaio. Os animais só devem ser mantidos sob ensaio durante o tempo necessário para obter informação definitiva. Os animais que apresentem sintomas continuados de dor intensa ou de perigo devem ser abatidos sem demora, sendo a substância classificada de acordo com estes resultados. Os animais que apresentem as seguintes lesões oculares posteriores à instilação devem ser abatidos: perfuração da córnea; ulceração significativa da córnea, incluindo estafiloma; sangue na câmara anterior do olho; opacidade da córnea de grau 4 persistente durante 48 horas; ausência de reflexo à luz (resposta da íris de grau 2) persistente durante 72 horas; ulceração da membrana conjuntival; necrose da conjuntiva ou da membrana nictitante; ou formação de crosta. Este procedimento é devido ao facto de normalmente este tipo de lesões ser irreversível.

Os ensaios com animais que não desenvolvam lesões oculares podem ser interrompidos, mas não antes de três dias após a instilação. Os animais que apresentem lesões fracas a moderadas devem permanecer sob observação até cura de todas as lesões ou durante o período de 21 dias, após o qual o estudo é finalizado. As observações devem ser efectuadas 7, 14 e 21 dias após a aplicação de modo a determinar o estado das lesões e a sua reversibilidade ou irreversibilidade.

Os graus da reacção ocular (conjuntiva, córnea e íris) devem ser anotados em cada exame (tabela I). Quaisquer outras lesões do olho (por exemplo, *pannus* da córnea, coloração) ou efeitos sistémicos adversos devem igualmente ser incluídos no relatório.

O exame das reacções pode ser facilitado pela utilização de uma lupa binocular, de uma lâmpada de fenda manual, de um biomicroscópio ou de outro instrumento apropriado. Após anotação das observações no final de 24 horas, o exame aos olhos pode ser feito recorrendo a fluoresceína.

A graduação das respostas oculares é necessariamente subjectiva. O pessoal que executa as observações deve ser treinado adequadamente no sistema de graduação utilizado para promover a harmonização da graduação da resposta ocular e auxiliar os laboratórios de ensaio e as pessoas envolvidas na obtenção e interpretação das observações.

2. DADOS

2.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados de irritação ocular devem ser avaliados conjuntamente com a natureza e gravidade das lesões e a sua reversibilidade ou ausência de reversibilidade. As respostas individuais não representam um padrão absoluto das propriedades irritantes do material, já que são também avaliados outros efeitos do material de ensaio. Pelo contrário, os resultados individuais devem ser encarados como valores de referência que só são significativos quando corroborados por uma descrição e avaliação completas de todas as observações.

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deverá incluir as seguintes informações:

Fundamentação lógica para o ensaio *in vivo*: análise de importância das provas dos dados de ensaio preexistentes, incluindo os resultados da estratégia de ensaio sequencial:

- descrição dos dados relevantes disponíveis de ensaios anteriores;
- dados obtidos em cada etapa da estratégia de ensaio;
- descrição dos ensaios *in vitro* efectuados, incluindo detalhes sobre o protocolo, resultados obtidos com substâncias de ensaio/referência;
- descrição do estudo efectuado *in vivo* sobre irritação/corrosão dérmica, incluindo os resultados obtidos;
- análise de importância das provas para a realização do estudo *in vivo*.

Substância de ensaio:

- dados de identificação (por exemplo, número CAS, origem, grau de pureza, impurezas conhecidas, número de lote);
- natureza física e propriedades físico-químicas (por exemplo, pH, volatilidade, solubilidade, estabilidade, reactividade com água);
- no caso de misturas, composição e percentagens relativas dos componentes;
- no caso de utilização de um anestésico local, identificação, grau de pureza, tipo, dose e interacção potencial com a substância de ensaio.

Excipiente:

- identificação, concentração (quando apropriado), volume utilizado;

- justificação para a escolha do excipiente.

Animais de ensaio:

- espécie/estirpe utilizada, fundamentação lógica para a utilização de outro tipo de animais que não coelhos albinos;
- idade de cada animal no início do estudo;
- número de animais de cada sexo no ensaio e nos grupos de controlo (se necessário);
- peso individual dos animais no início e no final do ensaio;
- origem, condições de alojamento, dieta, etc.

Resultados:

- descrição do método utilizado para medir a irritação em cada observação (por exemplo, lâmpada de fenda manual, biomicroscópio, fluoresceína);
- disposição em tabelas dos dados sobre a resposta irritante/corrosiva para cada animal em cada observação até remoção do animal do ensaio;
- descrição pormenorizada do grau e natureza da irritação ou corrosão observadas;
- descrição de quaisquer outras lesões do olho observadas (por exemplo, vascularização, formação de *pannus* da córnea, adesões, coloração);
- descrição de efeitos não oculares locais e efeitos sistémicos adversos e, caso sejam efectuadas, das observações histopatológicas.

Análise dos resultados.

3.2. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A extrapolação dos resultados dos estudos de irritação ocular em animais de laboratório para humanos tem uma validade limitada. Em muitos casos, o coelho albino é mais sensível do que os humanos a substâncias irritantes ou corrosivas oculares.

A interpretação dos dados deve ser feita cuidadosamente de modo a excluir irritação resultante de infecções secundárias.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Barratt, M.D., Castell, J.V., Chamberlain, M., Combes, R.D., Dearden, J.C., Fentem, J.H., Gerner, I., Giuliani, A., Gray, T.J.B., Livingston, D.J., Provan, W.M., Rutten, F.A.J.J.L., Verhaar, H.J.M., Zbinden, P., (1995) The Integrated Use of Alternative Approaches for Predicting Toxic Hazard. ECVAM Workshop Report 8. ATLA 23, p. 410-429.
- (2) de Silva, O., Cottin, M., Dami, N., Roguet, R., Catroux, P., Toufic, A., Sicard, C., Dossou, K.G., Gerner, I., Schleder, E., Spielmann, H., Gupta, K.C., Hill, R.N., (1997) Evaluation of Eye Irritation Potential: Statistical Analysis and Tier Testing Strategies. Food Chem. Toxicol 35, p. 159-164.
- (3) Worth A.P. and Fentem J.H., (1999) A general approach for evaluating stepwise testing strategies ATLA 27, 161-177
- (4) Young, J.R., How, M.J., Walker, A.P., Worth W.M.H., (1988) Classification as Corrosive or Irritant to Skin of Preparations Containing Acidic or Alkaline Substance Without Testing on Animals. Toxicology *In Vitro*, 2, p. 19-26.

- (5) Neun, D.J., (1993) Effects of Alkalinity on the Eye Irritation Potential of Solutions Prepared at a Single pH. *J. Toxicol. Cut. Ocular Toxicol.* 12, p. 227-231.
- (6) Fentem, J.H., Archer, G.E.B., Balls, M., Botham, P.A., Curren, R.D., Earl, L.K., Edsaile, D.J., Holzhutter, H.G. and Liebsch, M., (1998) The ECVAM international validation study on in vitro tests for skin corrosivity. 2. Results and evaluation by the Management Team. *Toxicology In Vitro* 12, p. 483-524.
- (6a) Método de Ensaio B.40 para corrosão da pele.
- (7) Método de Ensaio B.4. Toxicidade aguda: irritação/corrosão dérmica.
- (8) OECD, (1996) OECD Test Guidelines Programme: Final Report of the OECD Workshop on Harmonization of Validation and Acceptance Criteria for Alternative Toxicological Test Methods. Held in Solna, Sweden, 22-24 January 1996 (<http://www.oecd.org/ehs/test/background.htm>).
- (9) OECD, (1998) Harmonized Integrated Hazard Classification System for Human Health and Environmental Effects of Chemical Substances, as endorsed by the 28th Joint Meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals, November 1998 (<http://www.oecd.org/ehs/Class/HCL6.htm>).
- (10) OECD, (2000) Guidance Document on the Recognition, Assessment and Use of Clinical Signs as Humane Endpoints for Experimental Animals Used in Safety Evaluation. OECD Environmental Health and Safety Publications. Series on Testing and Assessment No 19 (<http://www.oecd.org/ehs/test/monos.htm>).

Tabela I

GRADUAÇÃO DE LESÕES OCULARES**Córnea**

Opacidade: grau de densidade (as medições devem ser efectuadas na área mais densa) (*)

Sem ulceração nem opacidade	0
Áreas de opacidade escassas ou difusas (para além de uma pequena perda do lustre normal); detalhes da íris claramente visíveis	1
Área translúcida claramente discernível; detalhes da íris ligeiramente obscurecidos	2
Área nacarada; não são visíveis os detalhes da íris; o tamanho da pupila é dificilmente discernível	3
Córnea opaca; a íris não é discernível através da opacidade	4

Máximo possível: 4

NOTAS

(*) Deve ser anotada qual a área de opacidade da córnea.

Íris

Normal	0
Rugas marcadamente profundas, congestão, tumefacção, hiperemia ao redor da córnea moderada; ou injeção; íris reactiva à luz (considera-se que uma reacção lenta é um efeito)	1
Hemorragia, destruição maciça ou ausência de reacção à luz	2

Máximo possível: 2

Conjuntiva

Vermelhidão (refere-se à conjuntiva palpebral e bulbar; excluindo a córnea e a íris)

Normal	0
Alguns vasos sanguíneos com hiperemia (injectados)	1
Cor carmesim difusa; vasos individuais não são claramente discerníveis	2
Cor vermelho-carne difusa	3

Máximo possível: 3

Quimiose

Tumefacção (refere-se às pálpebras e/ou às membranas nictantes)

Normal	0
Alguma tumefacção acima do normal	1
Tumefacção óbvia, com eversão parcial das pálpebras	2
Tumefacção, com as pálpebras semicerradas	3
Tumefacção, com as pálpebras mais do que semicerradas	4

Máximo possível: 4

ANEXO

Uma estratégia de ensaio sequencial para a irritação e corrosão ocular

CONSIDERAÇÕES GERAIS

No sentido de atender aos interesses quer científicos, quer da protecção dos animais, torna-se importante evitar o uso desnecessário de animais e minimizar os ensaios que possam causar reacções graves em animais. Deve ser analisada toda a informação sobre a substância que seja relevante para a sua potencial capacidade irritante/corrosibilidade ocular antes de se considerarem os ensaios *in vivo*. É possível que existam já dados suficientes para classificar a substância de ensaio segundo o seu potencial irritante ou corrosivo ocular, sem necessidade de recorrer a ensaios em animais de laboratório. Assim, a utilização de uma análise de importância das provas e de uma estratégia de ensaio sequencial minimizará a necessidade de ensaios *in vivo*, especialmente no caso de substâncias susceptíveis de produzir reacções graves.

Recomenda-se a utilização da análise de importância das provas para avaliar a informação existente sobre irritação e corrosão ocular e determinar a necessidade de se efectuar estudos adicionais, diferentes dos estudos oculares *in vivo*, que sejam úteis para caracterizar o referido potencial. No caso de serem necessários estudos adicionais, recomenda-se a utilização de uma estratégia de ensaio sequencial para a obtenção dos dados experimentais relevantes. No caso de substâncias para as quais não exista nenhuma história de ensaios, deve ser utilizada a estratégia sequencial para a obtenção dos dados necessários para avaliar a sua irritação/corrosão ocular. A estratégia de ensaio descrita no presente anexo foi desenvolvida num grupo de trabalho (*workshop*) da OCDE (1). Foi subsequentemente confirmado e ampliado no sistema harmonizado e integrado de classificação de perigos para a saúde humana e efeitos ambientais de substâncias químicas, tal como foi aprovado pela 28.^a sessão conjunta do comité das substâncias químicas e do grupo de trabalho de substâncias químicas, em Novembro de 1998 (2).

Apesar da presente estratégia de ensaio não fazer parte integrante do método de ensaio B.5, ela expressa a metodologia recomendada para a determinação das propriedades de irritação/corrosão ocular. Esta metodologia representa não só a melhor prática como também um ponto de referência ético para o ensaio *in vivo* para irritação/corrosão ocular. O método de ensaio fornece uma orientação para a realização do ensaio *in vivo* e resume os factores que devem ser considerados antes de ponderar a execução deste ensaio. A estratégia de ensaio sequencial fornece uma metodologia de análise da importância das provas para a avaliação dos dados existentes sobre as propriedades de irritação/corrosão ocular de substâncias e uma metodologia em séries para a obtenção de dados relevantes sobre substâncias para as quais sejam necessários estudos adicionais ou para os quais não tenham sido efectuados quaisquer estudos. A estratégia inclui inicialmente a realização de ensaios *in vitro* ou *ex vivo* validados e aceites e, seguidamente, do método de ensaio B.4 para o estudo de irritação/corrosão dérmica em circunstâncias específicas (3) (4).

DESCRIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE ENSAIO POR ETAPAS

Antes da realização dos ensaios como parte da estratégia de ensaio sequencial (figura) deve ser avaliada toda a informação disponível de modo a determinar a necessidade de realização de ensaios oculares *in vivo*. Apesar de ser possível obter informação significativa a partir da avaliação de um só parâmetro (por exemplo, pH extremo), deve ser avaliada a totalidade da informação existente. Para uma decisão baseada na análise da importância das provas, devem ser avaliados todos os dados relevantes sobre os efeitos da substância em causa, bem como dos seus análogos estruturais, e deve apresentar-se uma justificação fundamentada para a decisão tomada. Deve dar-se especial relevância aos dados existentes sobre a substância relativamente a humanos e animais e, seguidamente, aos resultados dos ensaios *in vitro* ou *ex vivo*. Sempre que possível, devem ser evitados estudos *in vivo* de substâncias corrosivas. Os factores considerados na estratégia de ensaio incluem:

Avaliação dos dados existentes sobre humanos e animais (etapa 1). Devem considerar-se em primeiro lugar os dados existentes sobre humanos — por exemplo, estudos clínicos e ocupacionais, relatórios de casos clínicos e/ou dados de ensaios de estudos oculares em animais —, já que estes dados fornecem informação directamente relacionada com os efeitos nos olhos. Em seguida, devem ser avaliados os dados disponíveis sobre estudos de investigação da irritação/corrosão dérmica em humanos e/ou animais. As substâncias que apresentem evidências de corrosibilidade ou capacidade irritante grave para os olhos conhecidas não devem ser instiladas em olhos de animais. De igual forma, as substâncias que apresentem efeitos corrosivos ou irritantes para a pele também não devem ser instiladas em olhos de animais, devendo ser consideradas igualmente corrosivas e/ou irritantes para os olhos. As substâncias que apresentem provas suficientes de não serem corrosivas ou irritantes em estudos oculares efectuados anteriormente também não devem ser ensaiadas em estudos oculares *in vivo*.

Análise de relações estrutura-actividade (SAR) (etapa 2). Devem ser considerados os resultados de ensaios de substâncias químicas estruturalmente semelhantes, caso se encontrem disponíveis. No caso de existirem dados sobre humanos e/ou animais suficientes, relativos aos efeitos de substâncias estruturalmente semelhantes ou a misturas deste tipo de substâncias, indicativos do seu potencial de irritação/corrosão ocular, pode presumir-se que a substância de ensaio produzirá as mesmas reacções. Nestes casos, poderá não ser necessário proceder a ensaios da substância. Os dados negativos obtidos de estudos de substâncias estruturalmente semelhantes ou misturas dessas substâncias não constituem prova suficiente de não-corrrosibilidade/não-irritabilidade da substância sob estratégia de ensaio sequencial. Devem ser utilizadas abordagens de SAR validadas e aceites para identificação do potencial de irritação e corrosão, tanto dos efeitos dérmicos como oculares.

Propriedades físico-químicas e reactividade química (etapa 3). As substâncias que apresentam pH extremos, tais como $\leq 2,0$ ou $\geq 11,5$, podem ter efeitos locais fortes. Se o pH extremo servir como base de identificação da corrosibilidade ou capacidade irritante ocular de uma substância, a sua reserva ácida/alcalina (poder tampão) também deve ser tida em consideração (5) (6). Se o poder tampão indicar que a substância pode não ser corrosiva para o olho, devem ser efectuados ensaios adicionais para confirmar esta indicação, de preferência utilizando ensaios *in vitro* ou *ex vivo* validados e aceites (ver secção das etapas 5 e 6).

Consideração de outras informações existentes (etapa 4). Nesta etapa, deve ser avaliada toda a informação disponível sobre toxicidade sistémica por via dérmica. Deve ser também considerada a toxicidade dérmica aguda da substância de ensaio. Se tiver sido demonstrado que a substância é muito tóxica por via dérmica pode não ser necessário efectuar ensaios oculares. Apesar de não existir necessariamente uma relação entre a toxicidade dérmica aguda e a irritação/corrosão ocular, pode considerar-se que se um agente é muito tóxico por via dérmica, também mostrará elevada toxicidade quando instilado no olho. Estes dados podem ser também considerados entre as etapas 2 e 3.

Resultados de ensaios in vitro ou ex vivo (etapas 5 e 6). Não é necessário proceder a ensaios em animais de substâncias que tenham apresentado propriedades corrosivas ou de irritação grave em ensaios *in vitro* ou *ex vivo* (7) (8) que tenham sido validados e aceites para estimar especificamente a corrosibilidade/capacidade de irritação ocular ou dérmica. Pode considerar-se que estas substâncias produzirão efeitos graves semelhantes *in vivo*. Se não se encontrarem disponíveis ensaios *in vitro/ex vivo* validados e aceites, devem ultrapassar-se as etapas 5 e 6 e passar-se directamente à etapa 7.

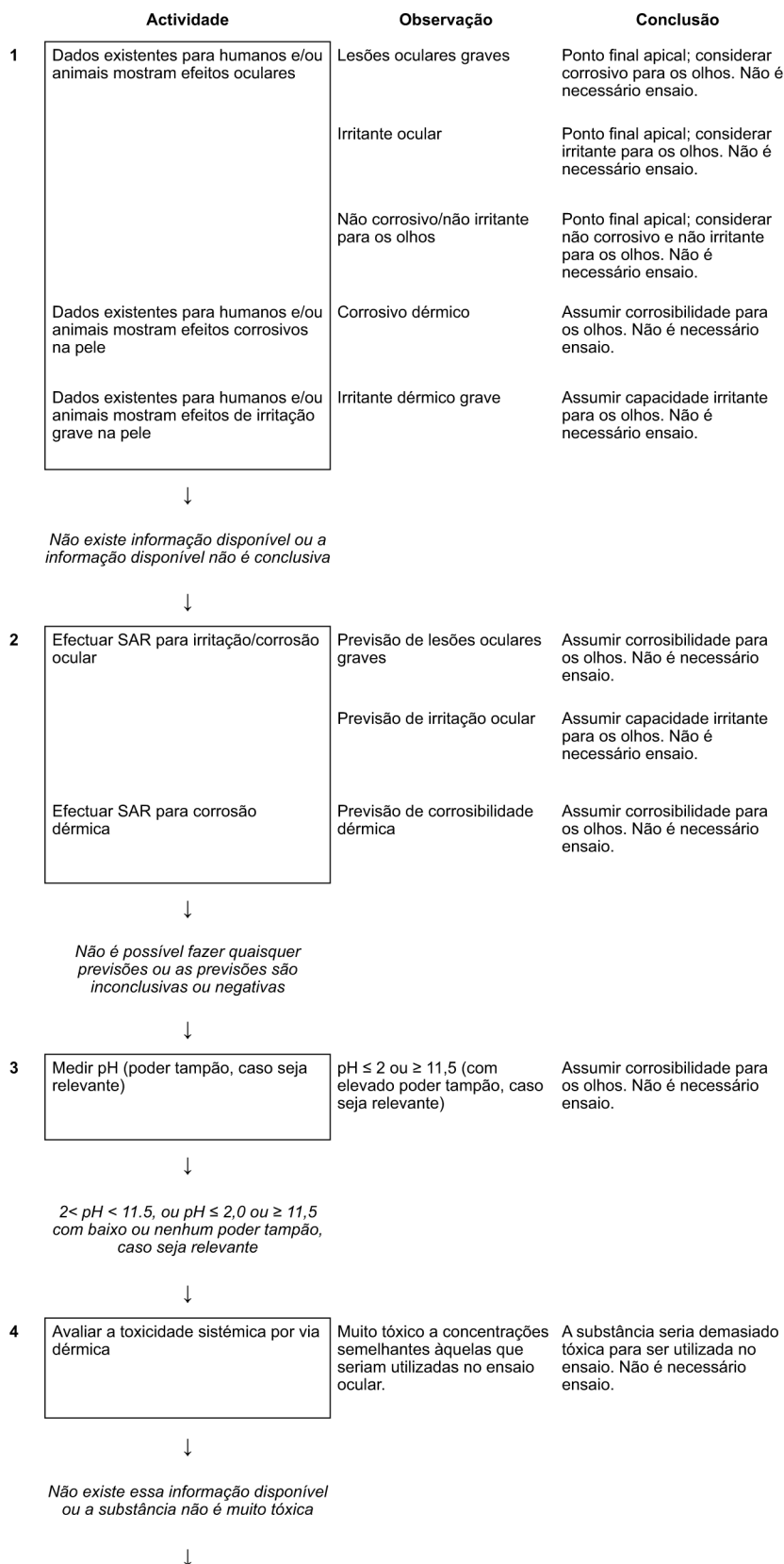
Avaliação da capacidade irritante ou corrosibilidade dérmica in vivo de uma substância (etapa 7). Caso não existam dados suficientes para uma análise da importância das provas conclusiva sobre o potencial de irritação/corrosão de uma substância baseada nos dados dos estudos supramencionados, deve proceder-se em primeiro lugar a uma avaliação do potencial de irritação/corrosão dérmica *in vivo*, utilizando o método de ensaio B.4 (4) e o seu anexo (9). Se a substância causar corrosão ou irritação grave da pele, deve ser considerada um irritante ocular corrosivo, excepto se existir outro tipo de informação que apoie uma conclusão alternativa. Assim, não há necessidade de efectuar um ensaio ocular *in vivo*. Se a substância não for corrosiva ou gravemente irritante para a pele, deve efectuar-se um ensaio ocular *in vivo*.

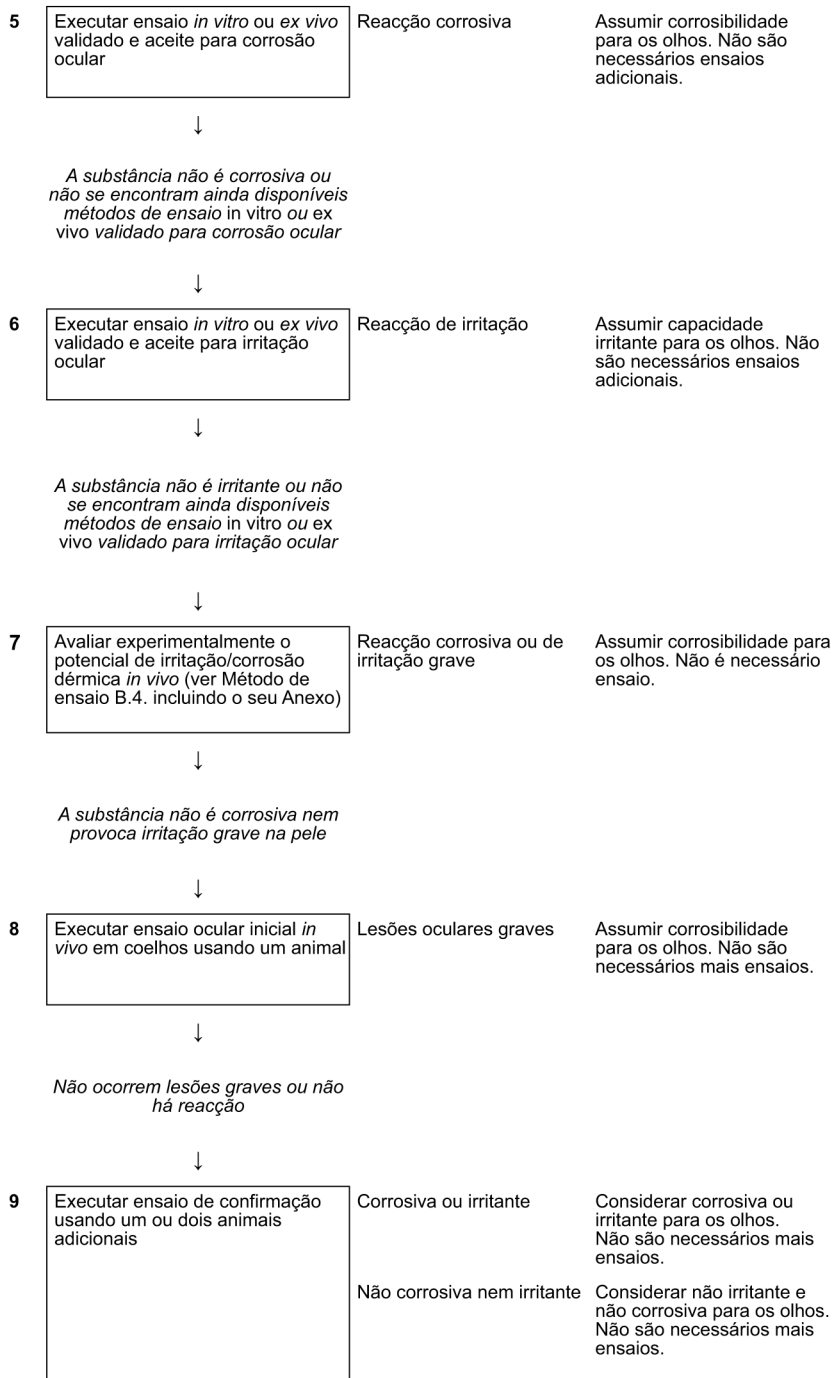
Ensaio in vivo em coelhos (etapas 8 e 9). O ensaio ocular *in vivo* deve começar por um ensaio inicial usando um animal. Se os resultados deste ensaio indicarem que a substância provoca irritação grave ou é corrosiva para os olhos, não devem ser efectuados outros ensaios. Se o ensaio não revelar quaisquer efeitos corrosivos ou de irritação grave, deve efectuar-se um ensaio de confirmação com dois animais adicionais.

REFERÊNCIAS

- (1) OECD, (1996) OECD Test Guidelines Programme: Final Report of the OECD Workshop on Harmonization of Validation and Acceptance Criteria for Alternative Toxicological Test Methods. Held in Solna, Sweden, 22-24 January 1996 (<http://www.oecd.org/ehs/test/background.htm>).
- (2) OECD, (1998) Harmonized Integrated Hazard Classification System for Human Health and Environmental Effects of Chemical Substances, as endorsed by the 28th Joint Meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals, November 1998 (<http://www.oecd.org/ehs/Class/HCL6.htm>).
- (3) Worth, A.P. and Fentem J.H., (1999). A General Approach for Evaluating Stepwise Testing Strategies. ATLA 27, p. 161-177.
- (4) Método de ensaio B.4. Toxicidade aguda: irritação/corrosão dérmica.
- (5) Young, J.R., How, M.J., Walker, A.P., Worth W.M.H., (1988) Classification as Corrosive or Irritant to Skin of Preparations Containing Acidic or Alkaline Substance Without Testing on Animals. *Toxicology In Vitro*, 2, p. 19-26.
- (6) Neun, D.J., (1993) Effects of Alkalinity on the Eye Irritation Potential of Solutions Prepared at a Single pH. *J. Toxicol. Cut. Ocular Toxicol.* 12, p. 227-231.
- (7) Fentem, J.H., Archer, G.E.B., Balls, M., Botham, P.A., Curren, R.D., Earl, L.K., Edsall, D.J., Holzhutter, H.G. and Liebsch, M., (1998) The ECVAM international validation study on *in vitro* tests for skin corrosivity. 2. Results and evaluation by the Management Team. *Toxicology In Vitro* 12, p. 483-524.
- (8) Método de Ensaio B.40. Corrosão dérmica.
- (9) Anexo ao método de ensaio B.4: Uma estratégia de ensaio sequencial para irritação e corrosão dérmicas.

Figura

Estratégia de ensaio e avaliação para irritação/corrosão ocular



B.6. SENSIBILIZAÇÃO CUTÂNEA

1. MÉTODO

1.1. INTRODUÇÃO

Observações

A sensibilidade e capacidade dos métodos de ensaio para detectar substâncias que possam induzir sensibilização cutânea considera-se importante num sistema de classificação em matéria de toxicidade no domínio da saúde pública.

Não existe um método único que permita identificar de modo adequado todas as substâncias que possuam um potencial de sensibilização cutânea para o homem.

Na selecção do método de ensaio devem ter-se em conta factores tais como as características físicas da substância, nomeadamente a sua capacidade de penetração na pele.

Desenvolveram-se dois tipos de ensaios em porquinhos-da-índia: ensaios com adjuvantes, em que a reacção alérgica é desencadeada por uma solução ou suspensão da substância em estudo em «adjuvante completo de Freunds», e os ensaios sem adjuvantes.

Em geral, os ensaios com adjuvantes permitem determinar o potencial de sensibilização cutânea no homem com mais precisão que os métodos que não utilizam o «adjuvante completo de Freunds», pelo que são preferíveis.

O ensaio de maximização em porquinhos-da-índia constitui um método com adjuvante largamente utilizado. Embora possam utilizar-se vários outros métodos para determinar o potencial de sensibilização cutânea, o método em causa é considerado o mais adequado.

Os ensaios sem adjuvantes (de que o ensaio de Buehler constitui o mais popular) são considerados menos sensíveis quando aplicados a determinadas classes de substâncias.

Em alguns casos, podem existir motivos para a selecção do ensaio de Buehler, em que se procede à aplicação tópica, em vez do método de maximização em porquinhos-da-índia, que utiliza a injeção intradérmica. No caso do recurso ao método de Buehler, deve fornecer-se a respectiva justificação.

O presente método descreve o ensaio de maximização em porquinhos-da-índia e o método de Buehler. Pode recorrer-se a outros métodos devidamente validados cuja utilização seja cientificamente justificada.

Se um ensaio de despiste reconhecido fornecer um resultado positivo, a substância submetida ao ensaio pode ser designada potencialmente sensibilizante e pode não ser necessário efectuar subsequentemente um ensaio com cobaías. No entanto, se o referido ensaio fornecer um resultado negativo, é necessário efectuar um ensaio com cobaías segundo a metodologia aplicável ao presente método de ensaio.

Ver também a parte B da Introdução Geral.

1.2. DEFINIÇÕES

Sensibilização cutânea (dermatite de contacto alérgica): reacção cutânea, de origem imunológica, a uma determinada substância. No homem, a reacção pode incluir pruridos, eritema, edema, pápulas, vesículas, bolhas ou uma combinação dos mesmos. Em outras espécies, as reacções podem diferir, embora apenas se observe eritema e edema.

Exposição de indução: exposição experimental de um indivíduo a uma substância em estudo, com o objectivo de induzir uma reacção de hipersensibilidade.

Período de indução: período de, pelo menos, uma semana após a exposição de indução, durante o qual pode surgir uma reacção de hipersensibilidade.

Exposição de desencadeamento: exposição experimental a uma determinada substância, após o período de indução, de um indivíduo previamente exposto à mesma, de modo a averiguar uma eventual reacção de hipersensibilidade.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

A sensibilidade e a fiabilidade da técnica experimental utilizada devem ser determinadas semestralmente por recurso a substâncias que se saiba possuírem propriedades de sensibilização cutânea ligeiras ou moderadas.

Num ensaio realizado de forma adequada, a utilização de um sensibilizante ligeiro ou moderado deve determinar uma reacção de pelo menos 30 %, no caso de um ensaio com adjuvante, e de pelo menos 15 % no caso de um ensaio sem adjuvante.

Recomenda-se a utilização das substâncias seguintes:

Número CAS	Número EINECS	Denominação EINECS	Denominação comum
101-86-0	202-983-3	α -Hexilcinamaldeído	α -Hexilcinamaldeído
149-30-4	205-736-8	Benzotiazolo-2-tiol (mercapto-benzotiazolo)	Kaptax
94-09-7	202-303-5	Benzocaína	Norcaína

Em determinados casos devidamente justificados podem utilizar-se outras substâncias que satisfaçam os critérios atrás referidos.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Os animais utilizados são inicialmente expostos à substância em estudo por injeção intradérmica e/ou aplicação epidérmica (exposição de indução). Após um período de repouso de 14 dias (período de indução), durante o qual poderá observar-se uma reacção imunitária, os animais são expostos a uma dose de desencadeamento. A extensão e o grau da reacção cutânea à exposição de desencadeamento nos animais do lote de ensaio é comparada com a reacção observada nos animais do lote de controlo, sujeitos a um produto inactivo na fase da indução e objecto da exposição de desencadeamento.

1.5. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

Caso se afigure aconselhável a remoção da substância em estudo, deve utilizar-se para tal água ou um solvente adequado que não altere a reacção observada, bem como a integridade da epiderme.

1.5.1. Ensaio de maximização nos porquinhos-da-índia

1.5.1.1. Preparação

Os animais (porquinhos-da-índia albinos adultos, jovens e saudáveis) são aclimatados às condições laboratoriais durante, pelo menos, cinco dias. Antes do ensaio, procede-se à respectiva distribuição aleatória por lotes. O pêlo é removido com o auxílio de uma tesoura ou lâmina ou, eventualmente, por depilação química, de acordo com o método utilizado. Deve evitar-se produzir feridas. Os animais são pesados antes do início do ensaio e após o respectivo termo.

1.5.1.2. Condições de ensaio

1.5.1.2.1. Animais de ensaio

Os animais devem ser porquinhos-da-índia albinos de utilização corrente em laboratório.

1.5.1.2.2. Número e sexo

Podem utilizar-se animais de ambos os sexos. Caso se utilizem fêmeas, estas devem ser nulíparas e não grávidas.

Utiliza-se um mínimo de 10 animais no lote de ensaio e um mínimo de cinco animais no lote de controlo. Caso se utilizem menos de 20 animais no lote de ensaio e menos de 10 animais no lote de controlo, não é possível concluir a natureza sensibilizante do produto, pelo que se recomenda vivamente a realização de ensaios com outros animais, até atingir os números referidos.

1.5.1.2.3. Doses

A concentração de substância em estudo utilizada em cada exposição por indução deve apresentar uma boa tolerância sistémica e corresponder à concentração máxima que produz uma irritação cutânea ligeira a moderada. A concentração utilizada na exposição de desencadeamento deve consistir na dose máxima não irritante. Se necessário, as concentrações adequadas podem ser determinadas a partir de um estudo-piloto utilizando dois ou três animais. Para tal, devem utilizar-se animais objecto de ensaio com «adjuvante completo de Freund».

1.5.1.3. Procedimento

1.5.1.3.1. Indução

Dia 0 — lote de ensaio

Administram-se três pares de injeções intradérmicas de 0,1 ml na região da espádua.

1.^a injeção: mistura «adjuvante completo de Freund»/água ou soro fisiológico (1:1) (v/v).

2.^a injeção: substância em estudo dissolvida num veículo adequado, na concentração escolhida.

3.^a injeção: substância em estudo dissolvida numa mistura «adjuvante completo de Freund»/água ou soro fisiológico (1:1) (v/v), na concentração escolhida.

Na 3.^a injeção, as substâncias hidrossolúveis são dissolvidas na fase aquosa antes da mistura com «adjuvante completo de Freund». As substâncias lipossolúveis ou insolúveis são suspensas em «adjuvante completo de Freund» antes de adicionadas à fase aquosa. A concentração final da substância em estudo deve ser igual à utilizada na 2.^a injeção.

As 1.^a e 2.^a injeções são administradas em regiões vizinhas, tão próximas quanto possível do crânio, enquanto que a 3.^a injeção é administrada na parte posterior da zona de ensaio.

Dia 0 — lote de controlo

Administram-se três pares de injeções intradérmicas de 0,1 ml na mesma região usada no caso dos animais do lote de ensaio.

1.^a injeção: mistura «adjuvante completo de Freund»/água ou soro fisiológico (1:1) (v/v).

2.^a injeção: veículo não diluído.

3.^a injeção: mistura a 50 % (m/v) do veículo numa mistura «adjuvante completo de Freund»/água ou soro fisiológico (1:1) (v/v).

5.^o-7.^o dias — lotes de ensaio e de controlo

No caso de a substância não constituir um irritante cutâneo, a zona de ensaio, com o pêlo previamente removido, é tratada, cerca de 24 horas antes da aplicação tópica de indução, com 0,5 ml de solução a 10 % de laurilssulfato de sódio em vaselina, de modo a produzir irritação local.

6.^o-8.^o dias — lote de ensaio

O pêlo é novamente removido da zona de ensaio. Impregna-se totalmente uma folha de papel de filtro (2 × 4 cm) da substância em estudo, dissolvida ou suspensa num veículo adequado, que se aplica na zona de ensaio, sendo mantida em contacto com a mesma durante 48 horas, com o auxílio de um penso oclusivo. Deve justificar-se a escolha do veículo utilizado. Os sólidos devem ser finamente divididos e incorporados num veículo adequado. Os líquidos podem ser aplicados directamente, se for caso disso.

6.º-8.º dias — lote de controlo

O pêlo é novamente removido da zona de ensaio. O veículo é aplicado de modo análogo ao anteriormente descrito, sendo também mantido em contacto com a referida zona durante 48 horas, com o auxílio de um penso oclusivo.

1.5.1.3.2. Desencadeamento

20.º-22.º dias — lotes de ensaio e de controlo

Remove-se o pêlo do flanco dos animais dos lotes de ensaio e de controlo. Aplica-se num dos flancos de cada animal um apósito ou uma câmara impregnados da substância em estudo; se necessário, pode aplicar-se no outro flanco um apósito ou uma câmara impregnados do veículo. Os sistemas em causa são mantidos em contacto com a pele com o auxílio de um penso oclusivo.

1.5.1.3.3. Observação e avaliação: lotes de ensaio e de controlo

- Cerca de 21 horas após a remoção do apósito ou da câmara, a zona em estudo é limpa, sendo o pêlo removido com o auxílio de uma tesoura ou lâmina, se necessário.
- Cerca de 3 horas depois (ou seja, cerca de 48 horas após o início do ensaio), observa-se a reacção cutânea, que se regista de acordo com a escala indicada no apêndice.
- Cerca de 24 horas após a primeira observação (72 horas após o início do ensaio), procede-se a um novo exame, cujos resultados se registam de modo análogo.

Recomenda-se a realização de leituras cegas com os animais dos lotes de ensaio e de controlo.

Caso seja necessário clarificar os resultados obtidos no primeiro ensaio de desencadeamento, pode realizar-se um segundo ensaio com um novo lote de controlo, cerca de uma semana depois. Pode também realizar-se um segundo ensaio de desencadeamento com o mesmo lote de controlo.

Devem observar-se e registar-se de acordo com a escala de Magnusson/Kligman (ver apêndice) todas as reacções anormais, nomeadamente reacções sistémicas, resultantes dos processos de indução e desencadeamento. Além disso, podem efectuar-se outros exames, nomeadamente um exame histopatológico ou uma determinação da espessura da prega cutânea, com o objectivo de clarificar eventuais reacções duvidosas.

1.5.2. *Ensaio de Buehler*

1.5.2.1. Preparação

Os animais (porquinhos-da-índia albinos adultos, jovens e saudáveis) são aclimatados às condições laboratoriais durante, pelo menos, cinco dias. Antes do ensaio, procede-se à respectiva distribuição aleatória por lotes. O pêlo é removido com o auxílio de uma tesoura ou lâmina ou, eventualmente, por depilação química, de acordo com o método utilizado. Deve evitar-se produzir feridas. Os animais são pesados antes do início do ensaio e após o respectivo termo.

1.5.2.2. Condições de ensaio

1.5.2.2.1. Animais de ensaio

Os animais devem ser porquinhos-da-índia albinos de utilização corrente em laboratório.

1.5.2.2.2. Número e sexo

Podem utilizar-se animais de ambos os sexos. Caso se utilizem fêmeas, estas últimas devem ser nulíparas e não grávidas.

Utiliza-se um mínimo de 20 animais no lote de ensaio e um mínimo de 10 animais no lote de controlo.

1.5.2.2.3. Doses

A concentração de substância em estudo utilizada em cada exposição por indução deve corresponder à concentração máxima que produz uma irritação cutânea moderada. A concentração utilizada na exposição de desencadeamento deve consistir na dose máxima não irritante. Se necessário, as concentrações adequadas

podem ser determinadas a partir de um estudo-piloto utilizando dois ou três animais.

No caso de as substâncias em estudo serem hidrossolúveis, deve utilizar-se como veículo água ou uma solução diluída de um tensoactivo não irritante. Nos restantes casos, o veículo deve consistir numa mistura etanol/água a 80 % (ensaio de indução) ou acetona (ensaio de desencadeamento).

1.5.2.3. Procedimento

1.5.2.3.1. Indução

Dia 0 — lote de ensaio

Remove-se o pêlo do flanco dos animais. O sistema de apósito é impregnado da substância em estudo, dissolvida ou suspensa num veículo adequado (deve justificar-se a escolha do veículo; as substâncias líquidas podem ser aplicadas sem diluição, se for caso disso)

e aplicado na zona de ensaio, sendo mantido em contacto com a mesma durante 6 horas, com o auxílio de um apósito ou de uma câmara e de um penso adequado.

O sistema de apósito utilizado deve ser oclusivo. Pode utilizar-se uma mecha de algodão de forma circular ou quadrada, com 4 a 6 cm². De modo a garantir a oclusão, é aconselhável utilizar um dispositivo de imobilização adequado. Caso se utilize uma faixa, poderá ser necessário proceder a exposições adicionais.

Dia 0 — lote de controlo

O pêlo é novamente removido da zona de ensaio. O veículo é aplicado de modo análogo ao anteriormente descrito, sendo também mantido em contacto com a referida zona durante 6 horas por intermédio de um penso oclusivo ou de uma câmara. Caso se conclua que não é necessário efectuar um controlo simulado, poderá efectuar-se um controlo mais simples.

6.º-8.º dias e 13.º-15.º dias — lotes de ensaio e de controlo

A substância em estudo é aplicada de modo análogo ao anteriormente descrito, na mesma zona e no mesmo flanco (se necessário, proceder à remoção do pêlo), entre o 6.º e o 8.º dias e, de novo, entre o 13.º e o 15.º dias.

1.5.2.3.2. Desencadeamento

27.º-29.º dias — lotes de ensaio e de controlo

Remove-se o pêlo do flanco posterior dos animais dos lotes de ensaio e de controlo não sujeito a exposição prévia e aplica-se um penso oclusivo ou câmara impregnados da quantidade adequada da substância em estudo (concentração máxima não irritante).

Se necessário, pode também aplicar-se um penso oclusivo ou câmara, impregnados do veículo, ao flanco anterior dos animais de ambos os lotes não sujeito a exposição prévia. Os pensos ou câmaras são mantidos em contacto com a pele durante 6 horas, com o auxílio de um dispositivo adequado.

1.5.2.3.3. Observação e avaliação

- Cerca de 21 horas após a remoção do apósito ou da câmara, remove-se o pêlo da área em estudo.
- Cerca de 3 horas depois (ou seja, cerca de 30 horas após o início do ensaio), observa-se a reacção cutânea, que se regista de acordo com a escala indicada em apêndice.
- Cerca de 24 horas após a primeira observação (54 horas após o início do ensaio), procede-se a um novo exame, cujos resultados se registam de modo análogo.

Recomenda-se a realização de leituras cegas com os animais dos lotes de ensaio e de controlo.

Caso seja necessário clarificar os resultados obtidos no primeiro ensaio de desencadeamento pode realizar-se um segundo ensaio com um novo lote de controlo, cerca de uma semana depois. Pode também realizar-se um segundo ensaio de desencadeamento com o mesmo lote de controlo.

Devem observar-se e registar-se de acordo com a escala de Magnusson/Kligman (ver apêndice) todas as reacções anormais, nomeadamente reacções sistémicas, resultantes dos processos de indução e desencadeamento. Além disso, podem efectuar-se outros exames, nomeadamente um exame histopatológico ou uma determinação da espessura da prega cutânea, com o objectivo de clarificar eventuais reacções duvidosas.

2. DADOS (GPMT E ENSAIO DE BUEHLER)

Os dados devem ser apresentados de forma sumária num quadro, referindo, para cada animal, a reacção cutânea observada.

3. RELATÓRIO (GPMT E ENSAIO DE BUEHLER)

Caso se tenha realizado um ensaio de prospecção (por exemplo, ensaio ganglionar local — LLNA — ou ensaio de tumefacção do pavilhão auditivo no ratinho — METS) antes do ensaio em porquinhos-da-índia, deve fornecer-se, juntamente com os resultados obtidos com a substância em estudo e a substância de referência, detalhes relativos ao procedimento.

Relatório do ensaio (ensaio de maximização em porquinhos da índia e ensaio de Buehler)

O relatório do ensaio deve incluir, sempre que possível, as seguintes informações:

Animais utilizados no ensaio:

- estirpe;
- número, idade e sexo dos animais;
- proveniência, condições de alojamento, dieta administrada, etc.;
- massa de cada animal no início do ensaio.

Condições de ensaio:

- pormenores relativos à preparação da zona de ensaio;
- pormenores relativos aos materiais e técnicas de apósito utilizadas;
- resultados dos estudos-piloto destinados a determinar as concentrações de indução e de desencadeamento utilizadas no ensaio;
- pormenores relativos à preparação, aplicação e remoção da substância em estudo;
- justificação da escolha do veículo;
- concentrações do veículo e da substância em estudo utilizadas nos ensaios de indução e de desencadeamento; quantidade total de substância aplicada nos ensaios de indução e de desencadeamento.

Resultados:

- resumo dos resultados do último controlo de sensibilidade e fiabilidade (ver 1.3), nomeadamente informações sobre a substância, a respectiva concentração e o veículo utilizado;
- dados relativos a cada animal, incluindo o sistema de classificação;

- descrição da natureza e gravidade dos efeitos observados;
- dados histopatológicos.

Discussão dos resultados.

Conclusões.

4. **REFERÊNCIAS**

O presente método é análogo ao método OCDE TG 406.

Apêndice

QUADRO

Escala de Magnusson/Kligman para a avaliação das reacções ao ensaio de desencadeamento

0 = alterações não visíveis;

1 = eritema discreto ou localizado;

2 = eritema moderado ou confluyente;

3 = eritema intenso e tumefacção.

B.7. TOXICIDADE ORAL DA DOSE REPETIDA (28 DIAS)

1. MÉTODO

1.1. INTRODUÇÃO

Ver a parte B da Introdução Geral.

1.2. DEFINIÇÕES

Ver a parte B da Introdução Geral.

1.3. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

A substância em estudo é administrada diariamente por via oral, em doses crescentes (uma dose por lote), a vários lotes de animais de ensaio, durante um período de 28 dias. No decurso deste período, os animais são examinados diariamente em pormenor, com vista à detecção de quaisquer sinais de toxicidade. Efectua-se a autópsia dos animais que morrem ou são abatidos durante o ensaio e, no final do mesmo, procede-se ao abate dos sobreviventes e à respectiva autópsia.

O presente método concede especial importância aos efeitos neurológicos, devendo efectuar-se um exame clínico pormenorizado dos animais, de modo a obter o máximo possível de informações. O método deverá permitir identificar substâncias com potencial neurotóxico, que poderão necessitar de uma investigação mais aprofundada. Além disso, o método pode fornecer indicações sobre os eventuais efeitos imunológicos e a eventual toxicidade sobre os órgãos reprodutores.

1.4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.4.1. Preparação

Seleccionam-se de modo aleatório animais adultos jovens e saudáveis, que se repartem pelos lotes de ensaio e de controlo. Devem dispor-se as gaiolas de forma a minimizar eventuais efeitos devidos à respectiva localização. Os animais são identificados individualmente e mantidos nas gaiolas durante pelo menos cinco dias antes do início do ensaio, de modo a permitir a aclimação às condições laboratoriais.

A substância em estudo é administrada por intermédio de uma sonda gástrica ou através da alimentação ou da água para beber. O método de administração oral depende do objectivo do ensaio, bem como das propriedades físico-químicas da substância.

Se necessário, a substância é dissolvida ou suspensa num veículo adequado. Sempre que possível, recomenda-se o uso de uma solução ou suspensão aquosa ou, se tal não for possível, uma solução ou emulsão num óleo (nomeadamente óleo de milho) ou ainda uma solução noutro veículo. No caso de se utilizar um veículo não aquoso, devem conhecer-se as respectivas características de toxicidade. Deve também determinar-se a estabilidade da substância no veículo utilizado.

1.4.2. Condições de ensaio

1.4.2.1. Animais de ensaio

Embora possa recorrer-se a outros roedores, o rato constitui a espécie preferida. Devem utilizar-se animais adultos, jovens e saudáveis, de estirpes correntes de laboratório. As fêmeas devem ser nulíparas e não grávidas. A administração da substância deve ter início logo que possível após o desmame e, em qualquer caso, antes de os animais completarem nove semanas de idade.

No início do estudo, a variação de massa dos animais deve ser mínima, não excedendo + 20 % da massa média de cada sexo.

Caso um ensaio de toxicidade oral da dose repetida preceda um estudo a longo prazo, é conveniente utilizar em ambos os ensaios animais da mesma estirpe e proveniência.

1.4.2.2. *Número e sexo*

Para cada dose, devem utilizar-se, pelo menos, 10 animais (cinco machos e cinco fêmeas). Caso se preveja o sacrifício de alguns animais durante o ensaio, o referido número deve ser acrescido do número de animais a sacrificar.

Além disso, pode administrar-se a um lote extra de animais (cinco de cada sexo), durante 28 dias, a dose mais elevada, com o objectivo de estudar a reversibilidade, a persistência ou a manifestação retardada de efeitos tóxicos nos 14 dias subsequentes à administração. Utiliza-se também um lote-satélite de 10 animais (cinco de cada sexo) no ensaio de controlo.

1.4.2.3. *Doses*

De modo geral, devem utilizar-se, no mínimo, três lotes de ensaio e um lote de controlo. Excepto no que respeita à administração da substância em estudo, deve proceder-se com os animais do lote de controlo do mesmo modo que com os animais dos lotes de ensaio. Caso se recorra a um veículo para a administração da substância em estudo, deve administrar-se o volume máximo do mesmo aos animais do lote de controlo.

Se, com base em outros dados, for previsível que a dose de 1 000 mg/kg de massa corporal/dia não determine quaisquer efeitos, pode proceder-se a um ensaio-limite. Na ausência de dados adequados, pode realizar-se um rastreio, de modo a determinar as doses a administrar.

Na selecção das doses devem ter-se em conta os eventuais dados disponíveis em matéria de toxicidade e toxicocinética referentes à substância em causa ou a produtos afins. A dose mais elevada deve ser escolhida com o objectivo de induzir efeitos tóxicos, evitando contudo a morte e o sofrimento intenso. Posteriormente, deve seleccionar-se uma sequência decrescente de doses, com o objectivo de evidenciar uma correlação entre a dose administrada e a reacção observada, bem como a ausência de efeitos adversos associados à administração da dose mínima (NOAEL). A diferença óptima entre as doses consiste, frequentemente, num factor de 2 a 4; em muitos casos, a utilização de um quarto lote de ensaio é preferível ao recurso a intervalos de grande amplitude (superior a um factor de 10) entre as doses.

Caso a substância em estudo seja administrada através dos alimentos ou da água para beber, deve assegurar-se que as respectivas quantidades não perturbam o equilíbrio nutricional e o balanço hídrico normais. Se a substância for administrada com os alimentos, pode utilizar-se uma concentração alimentar constante, expressa em ppm, ou uma dose constante, expressa em relação à massa corporal dos animais; deve especificar-se a alternativa adoptada. No caso do recurso a uma sonda gástrica, a dose deve ser administrada diariamente à mesma hora e, se necessário, ajustada de modo a manter uma dose constante em relação à massa corporal do animal.

Caso um ensaio de toxicidade oral da dose repetida preceda um estudo a longo prazo, é conveniente utilizar uma dieta semelhante em ambos os ensaios.

1.4.2.4. *Ensaio-limite*

Sempre que um ensaio, realizado de acordo com o presente método, que utilize uma dose de, pelo menos, 1 000 mg/kg de massa corporal/dia ou, no caso da administração através dos alimentos ou da água para beber, uma percentagem equivalente em relação aos mesmos (com base na determinação da massa corporal), não produza efeitos tóxicos observáveis, ou se, tendo em conta dados referentes a substâncias estruturalmente afins, não se preveja o surgimento de efeitos tóxicos, poderá não ser necessário efectuar um estudo completo com três doses. Nestes casos, justifica-se a realização de um ensaio-limite, excepto se a exposição humana indicar a necessidade de recurso a uma dose superior.

1.4.2.5. *Período de observação*

O período de observação deve ser de 28 dias. Os animais incluídos nos lotes extras destinados a ensaios subsequentes devem ser mantidos em observação durante, pelo menos, 14 dias suplementares, de modo a detectar a ocorrência retardada, a persistência ou a recuperação dos efeitos tóxicos.

1.4.3. **Procedimento**

A substância é administrada diariamente aos animais durante um período de 28 dias; em casos devidamente justificados, pode proceder-se à administração cinco dias por semana. A administração forçada deve efectuar-se numa dose única, por intermédio de uma sonda gástrica ou de uma cânula de intubação adequada. O volume máximo de líquido administrado em cada operação depende das dimensões do animal, não devendo exceder 1 ml/100 g de massa corporal, excepto no que respeita a soluções aquosas, em que podem utilizar-se 2 ml/100 g de massa corporal. Salvo no caso de substâncias corrosivas ou irritantes, cujos efeitos são, de modo geral, agravados em concentrações mais elevadas, devem minimizar-se as variações no volume mediante o ajustamento da concentração, de modo a assegurar um volume constante para todas as doses.

1.4.3.1. Observações gerais

Deve efectuar-se um exame clínico pelo menos uma vez por dia, de preferência à mesma hora, em função do período previsto de efeitos mais agudos devidos à administração da substância, registando-se o estado de saúde dos animais. Além disso, deve proceder-se à observação de todos os animais pelo menos duas vezes por dia, de modo a determinar a respectiva morbilidade e mortalidade. Os animais moribundos, bem como aqueles que apresentem sinais de dor e sofrimento intensos, devem ser removidos, abatidos por intervenção humana e autopsiados.

Deve proceder-se a um exame clínico aprofundado de todos os animais pelo menos uma vez antes da primeira exposição (de modo a permitir efectuar comparações com o mesmo indivíduo) e pelo menos uma semana após a mesma. O exame deve decorrer no exterior da gaiola, num recinto adequado e, de preferência, à mesma hora. As observações devem ser cuidadosamente registadas, de preferência por recurso a um sistema definido em pormenor pelo laboratório em causa. Devem procurar minimizar-se eventuais alterações das condições de ensaio e assegurar que a observação seja efectuada por pessoal exterior ao mesmo. Os sinais anotados devem incluir alterações na pele, no pêlo, nos olhos e nas mucosas, bem como a ocorrência de secreções, excreções ou actividade autónoma (como, por exemplo, lacrimação, erecção pilosa, alterações nas pupilas, respiração anormal). Deve também registar-se quaisquer alterações da atitude, postura e reacção à manipulação, além da ocorrência de movimentos clónicos ou tónicos e comportamentos estereotipados (por exemplo, actos de higiene repetitivos, movimentos circulares repetitivos) ou estranhos (automutilação, marcha para a retaguarda).

Na 4.^a semana de exposição deve determinar-se a reacção sensorial a diversos tipos de estímulos (auditivos, visuais e proprioceptivos), bem como a força da preensão e a actividade motora. A bibliografia indicada na parte B da Introdução Geral fornece pormenores sobre os procedimentos a adoptar.

Se o ensaio em causa preceder um estudo de toxicidade subcrónica a 90 dias, podem omitir-se as observações funcionais na 4.^a semana de exposição, que deverão efectuar-se no âmbito do ensaio subsequente. Além disso, a existência de dados relativos a observações funcionais efectuadas no âmbito do ensaio da dose repetida facilita a selecção das doses a utilizar no estudo de toxicidade subcrónica posterior.

Excepcionalmente, podem omitir-se as observações funcionais no caso de lotes que apresentem sinais de toxicidade numa extensão susceptível de interferir de modo significativo com as mesmas.

1.4.3.2. Massa corporal e consumo de alimentos e água para beber

Todos os animais devem ser pesados com uma frequência pelo menos semanal, devendo também determinar-se, com a mesma frequência, a quantidade de alimentos e de água para beber consumidos, facto que se reveste de especial importância no caso de a substância em estudo ser administrada através da água para beber.

1.4.3.3. Hematologia

No final do ensaio, devem determinar-se os seguintes parâmetros hematológicos: hematócrito, concentração de hemoglobina, contagem de eritrócitos, contagem total e diferencial de leucócitos, contagem de plaquetas e medida do tempo/potencial de coagulação.

As colheitas de sangue devem ser efectuadas numa zona determinada, imediatamente antes do abate dos animais ou no âmbito do mesmo, devendo armazenar-se as amostras em condições adequadas.

1.4.3.4. Bioquímica clínica

Devem também efectuar-se determinações bioquímicas destinadas a investigar os principais efeitos tóxicos sobre os tecidos, nomeadamente renal e hepático, com amostras de sangue de todos os animais, colhidas imediatamente antes do respectivo abate ou no âmbito do mesmo (à excepção dos animais encontrados moribundos ou abatidos no decurso do ensaio). Recomenda-se que os animais sejam jejuados desde a véspera da colheita de sangue ⁽¹⁾. Os parâmetros a determinar no plasma ou no soro são os seguintes: sódio, potássio, glucose, colesterol total, ureia, creatinina, proteínas totais e albumina, além de, pelo menos, dois enzimas indicadores dos efeitos hepatocelulares (tais como a alanina-aminotransferase, a aspartato-aminotransferase, a fosfatase alcalina, a γ -glutamyl-transpeptidase e a sorbitol-desidrogenase). A determinação de outros enzimas de origem hepática ou diversa, bem como de ácidos biliares, poderá, em determinados casos, proporcionar informações úteis.

⁽¹⁾ No caso de algumas determinações no soro e no plasma, como é o caso da glucose, é aconselhável jejuar os animais desde a véspera. O principal motivo deste facto reside em que a maior variabilidade dos resultados determinada pela ausência de jejum pode ocultar determinados efeitos, dificultando a interpretação dos resultados. No entanto, o jejum desde a véspera pode interferir com o metabolismo geral dos animais, nomeadamente no caso de estudos por via alimentar, alterando a exposição diária à substância em estudo. Assim, caso se opte pelo jejum desde a véspera, as análises bioquímicas devem ser efectuadas após observações funcionais a realizar na 4.^a semana do ensaio.

Como opção, podem realizar-se na última semana do ensaio as seguintes determinações na urina, recolhida de acordo com um programa previamente estabelecido: aparência, volume, osmolalidade ou gravidade específica, pH, proteínas, glucose e sangue/hematócitos.

Além disso, deve prever-se a pesquisa de marcadores séricos que forneçam indicações gerais sobre a lesão de tecidos. Caso as propriedades conhecidas da substância afetem, ou se preveja que possam afectar, o perfil metabólico da mesma, devem realizar-se outras determinações, nomeadamente de cálcio, fosfatos, triglicéridos em jejum, hormonas específicas, meta-hemoglobina e colinesterase. A necessidade de efectuar tais determinações é estabelecida em função do tipo de substância em estudo ou de cada caso específico.

De modo geral, deve adoptar-se uma abordagem flexível, em função das espécies e dos efeitos observados ou previstos da substância em causa.

Se os dados disponíveis relativos a ensaios anteriores se revelarem inadequados, devem determinar-se parâmetros hematológicos e bioquímicos antes de administrar a substância.

1.4.3.5. *Autópsia*

Todos os animais devem ser objecto de uma autópsia pormenorizada que inclua o exame da superfície exterior do corpo, dos orifícios e das cavidades craniana, torácica e abdominal, bem como do respectivo conteúdo. Devem remover-se de modo adequado as membranas aderentes a órgãos tais como o fígado, os rins, as glândulas supra-renais, os testículos, os epidídimos, o timo, o baço, o cérebro e o coração, cuja massa húmida deve ser determinada logo que possível após a dissecação, de modo a evitar a respectiva dessecação.

Os órgãos e tecidos que se seguem devem ser conservados num meio de fixação adequado aos mesmos, bem como ao tipo de exame histopatológico subsequente: todos os tecidos que apresentem lesões evidentes, encéfalo (regiões representativas, nomeadamente cérebro, cerebelo e protuberância), espinal medula, estômago, intestino delgado e cólon (incluindo as placas de Peyer), fígado, rins, glândulas supra-renais, baço, coração, timo, tiróide, traqueia e pulmões (conservados por insuflação com fixador seguida de imersão), gónadas, órgãos genitais acessórios (por exemplo, útero e próstata), bexiga, gânglios linfáticos (de preferência um gânglio situado na via de administração e um gânglio distante da mesma, de modo a investigar possíveis efeitos sistémicos), nervos periféricos (ciático ou tibial), nomeadamente na proximidade de músculos, e uma secção de medula óssea (ou, como alternativa, um aspirado de medula óssea recentemente montado). Em função das observações clínicas ou de natureza diversa efectuadas, poderá ser necessário examinar outros tecidos. Devem também conservar-se quaisquer órgãos susceptíveis de constituírem alvos da substância em estudo, em virtude das propriedades conhecidas da mesma.

1.4.3.6. *Exame histopatológico*

Deve proceder-se ao exame histopatológico dos órgãos e tecidos conservados dos animais do lote de controlo, bem como dos lotes sujeitos a doses elevadas. Caso o exame destes últimos revele alterações atribuíveis à substância em estudo, devem examinar-se também os animais de todos os lotes restantes.

Devem examinar-se todas as lesões importantes.

Sempre que se recorra a um lote extra, deve proceder-se ao exame histopatológico dos tecidos e órgãos que tenham revelado alterações nos animais dos restantes lotes.

DADOS

Devem registar-se os dados relativos a cada animal. Além disso, todos os dados devem ser resumidos num quadro, referindo-se, para cada lote de ensaio, o número de animais utilizados, o número de animais encontrados mortos ou abatidos por intervenção humana, a hora da morte de cada animal, o número de animais que apresentam sinais de toxicidade, a descrição dos sinais de toxicidade observados, nomeadamente o tempo decorrido até à respectiva manifestação, bem como a sua duração e gravidade, o número de animais que apresentem lesões, o tipo de lesões e a percentagem de animais que apresentam cada tipo de lesões.

Sempre que possível, os resultados numéricos devem ser avaliados por recurso a um método estatístico de aceitação geral, cuja escolha deve ser efectuada na fase de concepção do ensaio.

3. RELATÓRIO

RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deve incluir, sempre que possível, as seguintes informações:

Animais utilizados no ensaio:

- espécie/estirpe;
- número, idade e sexo dos animais;
- proveniência, condições de alojamento, dieta administrada, etc.;
- massa de cada animal determinada no início do ensaio, semanalmente após a administração da substância e no final do ensaio.

Condições de ensaio:

- justificação da escolha de um veículo não aquoso;
- motivo da selecção da dose de partida;
- pormenores relativos à preparação da substância em estudo e à sua eventual incorporação nos alimentos, nomeadamente a respectiva concentração, estabilidade e homogeneidade;
- pormenores relativos à administração da substância em estudo;
- equivalência entre a concentração da substância em estudo nos alimentos ou na água para beber, expressa em ppm, e a dose, expressa em mg/kg de massa corporal, se for caso disso;
- pormenores relativos à qualidade dos alimentos e da água.

Resultados:

- massa corporal e respectivas alterações;
- consumo de alimentos e de água, se for caso disso;
- reacções tóxicas em função do sexo e da dose administrada, nomeadamente sinais de toxicidade;
- natureza, gravidade e duração dos sinais clínicos (reversíveis ou não);
- dados relativos à actividade sensorial, força de prensão e actividade motora;
- resultados da análise hematológica, acompanhados dos respectivos parâmetros de base;
- resultados da análise bioquímica, acompanhados dos respectivos parâmetros de base;
- massa corporal aquando do abate e massa dos diversos órgãos;
- dados obtidos por autópsia;
- dados histopatológicos pormenorizados;

- dados de absorção, caso se encontrem disponíveis;
- tratamento estatístico dos resultados, se for caso disso.

Discussão dos resultados.

Conclusões.

4. **REFERÊNCIAS**

O presente método é análogo ao método OCDE TG 407.

B.8. TOXICIDADE (INALAÇÃO) DA DOSE REPETIDA (28 DIAS)**1. MÉTODO****1.1. INTRODUÇÃO**

É útil possuir informações preliminares sobre a distribuição granulométrica, a pressão de vapor, o ponto de fusão, o ponto de ebulição, o ponto de inflamação e a explosividade (se aplicável) da substância.

Ver também a Introdução Geral, parte B (ponto A).

1.2. DEFINIÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B (ponto B).

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Nenhuma.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Vários grupos de animais de experiência são expostos diariamente, por um período determinado, a concentrações diferentes das substâncias a ensaiar, à razão de uma concentração por grupo, durante um período de 28 dias. No caso de se utilizar um veículo para auxiliar a obter uma concentração apropriada da substância de ensaio na atmosfera, deve utilizar-se um grupo de controlo para o veículo. Durante o período de administração os animais são observados diariamente para se detectar as manifestações de toxicidade. Os animais que morrem durante a experiência são autopsiados e no fim da experiência os animais sobreviventes são igualmente autopsiados.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

Nenhum.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO**1.6.1. Preparativos**

Os animais são mantidos nas condições de alojamento e de alimentação da experiência pelo menos durante cinco dias antes do ensaio. Antes de se começar o ensaio os animais jovens e saudáveis são distribuídos aleatoriamente pelos grupos submetidos ao tratamento e pelo grupo de controlo. Se necessário pode adicionar-se um veículo à substância de ensaio para se conseguir uma concentração apropriada desta na atmosfera; no caso de se utilizar um veículo ou outros aditivos para facilitar a administração, estes devem ser comprovadamente não tóxicos. Pode recorrer-se a dados anteriormente publicados, se necessário.

1.6.2. Condições da experiência**1.6.2.1. Animais de experiência**

Salvo contra-indicação, a espécie preferida é o rato. Devem utilizar-se animais jovens e saudáveis de uma estirpe vulgarmente utilizada em laboratório.

No início da experiência a diferença de peso entre os animais não poderá ultrapassar $\pm 20\%$ do peso médio apropriado.

1.6.2.2. Número e sexo

Para cada grupo de ensaio serão utilizados pelo menos 10 animais (cinco fêmeas e cinco machos). As fêmeas deverão ser nulas e não grávidas. Se for previsível sacrificar alguns animais durante a experiência, deve acrescentar-se ao número inicial o número de animais que se prevê vir a sacrificar. Para além destes, poderá haver um grupo-satélite de 10 animais (cinco animais de cada sexo) tratado com a dose mais elevada durante 28 dias e observado quanto à reversibilidade, persistência ou aparecimento tardio de efeitos tóxicos durante 14 dias após o tratamento. Utiliza-se também um grupo-satélite de 10 animais de controlo (cinco animais de cada sexo).

1.6.2.3. *Concentração de exposição*

São utilizadas pelo menos três concentrações, com um grupo de controlo ou, se necessário, com um grupo de controlo para o veículo quando este for utilizado (correspondendo à concentração do veículo ao nível de exposição mais elevada). Os animais do grupo de controlo são tratados da mesma forma que os animais dos grupos de experiência com excepção da inalação da substância de ensaio. A concentração mais elevada deverá produzir efeitos tóxicos mas nenhuma ou poucas mortes. A menor concentração não deverá produzir quaisquer manifestações de toxicidade. No caso de se dispor de informação sobre a exposição humana, a concentração mais baixa será superior a esse valor. O ideal seria a concentração intermédia produzir o efeito tóxico mínimo observável. No caso de se utilizar várias concentrações intermédias, a diferença entre elas será calculada de forma a conseguir-se uma gradação dos efeitos tóxicos. Nos grupos de concentração baixa e intermédia, assim como nos grupos de controlo, a incidência de mortalidade deverá ser baixa para permitir uma avaliação significativa dos resultados.

1.6.2.4. *Tempo de exposição*

A duração da exposição diária deverá ser de seis horas, podendo utilizar-se outros períodos para satisfazer exigências específicas.

1.6.2.5. *Equipamento*

Os animais serão expostos à substância de ensaio por meio de um dispositivo de inalação concebido de forma a conseguir-se um fluxo de ar contínuo que assegurará pelo menos 12 renovações de ar por hora e que garanta uma concentração de oxigénio apropriada e uma distribuição uniforme do produto de ensaio no ar. No caso de se utilizar uma câmara, esta será concebida de maneira a obter-se uma superlotação mínima dos animais e uma exposição máxima à substância de ensaio. Como regra geral, para se assegurar a estabilidade da atmosfera na câmara, o «volume» total dos animais de experiência não deverá ultrapassar 5 % do volume da câmara de ensaio. Pode recorrer-se também a um sistema de exposição oronasal, apenas de cabeça ou do corpo inteiro, em câmara individual; os dois primeiros tipos de exposição permitem reduzir a penetração por outras vias.

1.6.2.6. *Período de observação*

Os animais da experiência deverão ser observados diariamente para se detectar manifestações de toxicidade durante todo o período de exposição e de recuperação. Proceder-se-á ao registo do momento da morte e bem assim do momento do aparecimento e desaparecimento das manifestações de toxicidade.

1.6.3. **Procedimento**

Os animais são expostos diariamente à substância de ensaio, cinco a sete dias por semana, durante um período de 28 dias. Os animais dos grupos-satélite destinados às observações complementares serão mantidos vivos durante mais 14 dias, sem tratamento, para se detectar a recuperação ou persistência dos efeitos tóxicos. A temperatura a que se efectua o ensaio deverá ser mantida a 22 ± 3 °C.

Em condições óptimas, a humidade relativa deverá ser mantida entre 30 % e 70 % mas, nalguns casos, isto pode ser impraticável (por exemplo, nos ensaios com aerossóis). A manutenção de uma pressão ligeiramente negativa no interior da câmara de ensaio (< 5 mm de água) evitará a fuga da substância de ensaio para o meio envolvente. Durante a exposição os animais não receberão alimentos nem água.

Deverá ser utilizado um sistema de inalação dinâmico com um dispositivo apropriado de controlo analítico da concentração. Recomenda-se a realização de um ensaio preliminar para se determinar as concentrações apropriadas de exposição. O débito de ar deverá assegurar concentrações homogéneas em toda a câmara de exposição. O sistema deverá permitir a obtenção de condições estáveis o mais rapidamente possível.

Deverá ser feita a medição ou monitorização de:

- a) débito de ar (permanentemente);
- b) a concentração real da substância de ensaio medida na zona de respiração. Durante o período de exposição diária a concentração não variará além de ± 15 % do valor médio. Contudo, no caso de alguns aerossóis esta precisão pode não ser possível e poderá ser aceitável uma variação maior. Durante toda a duração da experiência as concentrações diárias serão mantidas o mais constantes possível. Para os aerossóis dever-se-á efectuar semanalmente e por grupo de ensaio pelo menos uma análise granulométrica das partículas;
- c) temperatura e humidade, continuamente se for possível.

Durante e após a exposição às concentrações são feitas observações e registadas sistematicamente; são feitas fichas individuais para cada animal. Todos os animais serão observados diariamente e as manifestações de toxicidade, assim como o momento do seu aparecimento, a sua intensidade e a sua duração, serão registados. As observações deverão incluir as modificações da pele e do pêlo, dos olhos, das mucosas, do aparelho respiratório, do aparelho circulatório, do sistema nervoso autónomo e central, da actividade somatomotora e do comportamento. Determinar-se-á semanalmente o peso dos animais. Recomenda-se também a determinação do consumo alimentar semanal. Deve observar-se regularmente os animais para se evitar perdas, tanto quanto possível, causadas por canibalismo, autólise dos tecidos ou condições impróprias de alojamento. No fim da experiência todos os animais sobreviventes dos grupos tratados não satélites serão autopsiados. Os animais moribundos e os animais que apresentem graves sintomas de angústia ou dor deverão ser imediatamente retirados, sacrificados e submetidos a autópsia.

Os exames a seguir enunciados deverão ser efectuados no fim do período de ensaio para todos os animais incluindo os de controlo:

- i) um exame hematológico compreendendo os seguintes testes: hematócrito, concentração de hemoglobina, contagem de eritrócitos, contagem de leucócitos, fórmula leucocitária, bem como um estudo sobre o potencial de coagulação;
- ii) a determinação de dados bioquímicos do sangue incluindo pelo menos um parâmetro da função hepática e renal: alanina aminotransferase (inicialmente conhecida como transaminase glutâmico-pirúvica), aspartato aminotransferase (inicialmente conhecida como transaminase glutâmico-oxalo-acética), azoto ureico, albumina, creatinina plasmática, bilirrubina total e as proteínas séricas totais.

As outras análises eventualmente necessárias para uma avaliação toxicológica adequada incluem as análises de cálcio, fósforo, cloretos, sódio, potássio, glicose em jejum, análises de lípidos, de hormonas, equilíbrio ácido-básico, meta-hemoglobina e actividade colinesterásica.

Pode recorrer-se a outras análises bioquímicas clínicas sempre que necessário para melhorar a investigação dos efeitos observados.

1.6.3.1. *Autópsia*

Todos os animais submetidos a experiência deverão ser submetidos a uma autópsia geral. Pelo menos o fígado, os rins, as glândulas supra-renais, os pulmões e os testículos deverão ser pesados ainda húmidos, tão cedo quanto possível após a dissecação para se evitar a perda de líquidos por evaporação. Tanto os órgãos como os tecidos (tracto respiratório, fígado, rim, baço, testículos, glândulas supra-renais, coração e quaisquer órgãos que apresentem lesões graves ou alterações de volume) deverão ser conservados num meio adequado para um eventual exame histopatológico futuro. Os pulmões deverão ser removidos intactos, pesados e tratados com um fixador adequado para se garantir que a estrutura do pulmão seja mantida.

1.6.3.2. *Exame histopatológico*

No grupo tratado com a concentração mais elevada e nos grupos de controlo o exame histológico deverá ser efectuado em órgãos e tecidos conservados. Os órgãos e tecidos que apresentem efeitos susceptíveis de serem atribuídos à substância de ensaio administrada na dose mais elevada deverão ser examinados em todos os grupos tratados com doses inferiores. Deve proceder-se a um exame histológico dos animais de qualquer grupo-satélite com particular ênfase sobre os órgãos e tecidos que apresentaram efeitos identificados nos outros grupos tratados.

2. **RESULTADOS**

Os resultados serão resumidos na forma de quadros indicando, para cada experiência, o número de animais no início do ensaio e o número de animais que apresenta cada tipo de lesão.

Todos os resultados observados deverão ser avaliados por um método estatístico apropriado. Pode ser utilizado qualquer método estatístico reconhecido.

3. **RELATÓRIO**

3.1. **RELATÓRIO DO ENSAIO**

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

— espécie, estirpe, origem, condições ambientais, dieta, etc.;

- condições experimentais:

Descrição do aparelho de exposição incluindo projecto, tipo, dimensões, fonte de ar, sistema gerador de aerossóis, método de condicionamento de ar, tratamento do ar evacuado e, no caso disso, o método de acondicionamento dos animais na câmara de ensaio. Deve apresentar-se uma descrição do equipamento utilizado para medir a temperatura, a humidade e, se necessário, a estabilidade das concentrações do aerossol ou da distribuição granulométrica das partículas.

Dados relativos à exposição:

Estes dados serão apresentados sob a forma de um quadro indicando os valores médios, assim como uma medida de variação (por exemplo, o desvio-padrão) e dirão respeito:

- a) aos débitos de ar através do dispositivo de inalação,
 - b) à temperatura e à humidade do ar,
 - c) às concentrações nominais (quantidade total da substância de ensaio introduzida no dispositivo de inalação, dividida pelo volume de ar),
 - d) à natureza do veículo, se utilizado,
 - e) às concentrações reais na zona de respiração,
 - f) ao diâmetro aerodinâmico médio de massa (DAMM) e ao desvio-padrão geométrico (DPG);
- resposta tóxica por sexo e por concentração;
 - momento da morte durante a experiência ou indicação dos animais sobreviventes;
 - descrição dos efeitos tóxicos ou outros; dose que não produz efeito;
 - momento de observação de qualquer manifestação anormal e sua evolução;
 - dados relativos à alimentação e peso corporal;
 - exames hematológicos efectuados e seus resultados;
 - testes bioquímicos clínicos utilizados e seus resultados;
 - resultados da autópsia;
 - descrição pormenorizada de todas as observações histopatológicas;
 - tratamento estatístico dos resultados sempre que possível;
 - discussão dos resultados;
 - interpretação dos resultados.

3.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B (ponto D).

4. **REFERÊNCIAS**

Ver Introdução Geral, parte B (ponto E).

B.9. TOXICIDADE (DÉRMICA) DA DOSE REPETIDA (28 DIAS)

1. MÉTODO

1.1. INTRODUÇÃO

Ver Introdução Geral parte B (ponto A).

1.2. DEFINIÇÕES

Ver Introdução Geral, parte B (ponto B).

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Nenhuma.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Administra-se à pele diariamente a substância de ensaio, em doses graduadas, a diversos grupos de animais de experiência, utilizando-se uma dose por grupo durante um período de 28 dias. Durante o período de administração observa-se os animais diariamente para se detectar manifestações de toxicidade. Faz-se a autópsia dos animais mortos durante o ensaio e no final do ensaio faz-se também a autópsia dos animais que sobreviveram ao teste.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

Nenhum.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.6.1. Preparativos

Os animais são mantidos sob as condições de alojamento e alimentação experimentais durante pelo menos cinco dias antes do ensaio. Antes do ensaio procede-se a uma escolha aleatória de animais adultos, jovens e saudáveis e que são distribuídos por grupos de tratamento. Pouco tempo antes de se iniciar o ensaio rapa-se os pêlos da região dorsal dos animais. No caso de se recorrer à tosquia esta deverá ser efectuada aproximadamente 24 horas antes do ensaio. Normalmente é necessário repetir estas operações todas as semanas, devendo tomar-se muito cuidado para não lesar a pele. A área destinada à aplicação da substância de ensaio não poderá ser inferior a 10 % da superfície corporal. O peso do animal deverá ser tomado em consideração na decisão da zona a expor e da dimensão da superfície a tratar. Sempre que se procede ao ensaio de substâncias sólidas, as quais podem ser pulverizadas se necessário, a substância de ensaio deve ser humedecida com água ou com um veículo apropriado para garantir um bom contacto com a pele. As substâncias de ensaio líquidas são geralmente utilizadas sem serem diluídas. Procede-se a uma aplicação diária durante cinco a sete dias por semana.

1.6.2. Condições da experiência

1.6.2.1. Animais de experiência

Podem ser utilizados ratos adultos, coelhos ou cobaias. Outras espécies poderão ser utilizadas mas a sua utilização deverá ser justificada.

No início da experiência a diferença de peso entre os animais não poderá ultrapassar $\pm 20\%$ do peso médio apropriado.

1.6.2.2. Número e sexo

Para cada grupo de ensaio serão utilizados pelo menos 10 animais (cinco fêmeas e cinco machos) com pele saudável. As fêmeas deverão ser nulíparas e não grávidas. Se for previsível sacrificar alguns animais durante a experiência, deve acrescentar-se ao número inicial o número de animais que se prevê vir a sacrificar. Para além destes, poderá haver um grupo-satélite de 10 animais (cinco animais de cada sexo) tratado com a dose mais elevada durante 28 dias e observado quanto à reversibilidade, persistência ou aparecimento tardio de efeitos tóxicos durante 14 dias após o tratamento. Utiliza-se também um grupo-satélite de 10 animais de controlo (cinco animais de cada sexo).

1.6.2.3. *Doses*

São necessárias pelo menos três doses diferentes com um controlo ou com um veículo de controlo no caso de ser utilizado um veículo. O período de exposição deverá ser no mínimo de seis horas por dia. A substância de ensaio será aplicada diariamente à mesma hora e a quantidade a administrar será ajustada regularmente (semanal ou bissemanalmente) de modo a manter-se constante relativamente ao peso corporal do animal. Os animais do grupo de controlo serão tratados da mesma maneira que os animais dos grupos de experiência, com excepção da aplicação da substância de ensaio. No caso de se utilizar um veículo para facilitar a administração, este será administrado ao grupo de controlo da mesma forma que aos grupos tratados, devendo a dose corresponder à do grupo tratado com a dose mais elevada. A dose mais elevada será determinada de forma a produzir efeitos tóxicos mas nunca, ou raramente, a morte do animal. A dose mais baixa não deverá produzir quaisquer efeitos tóxicos. No caso de se dispor de informação sobre a exposição humana, a dose mais baixa deverá exceder esse valor. O ideal seria a dose intermédia produzir o efeito tóxico mínimo observado. No caso de se utilizar várias doses intermédias, a diferença entre elas será calculada de forma a conseguir-se uma gradação dos efeitos tóxicos. Nos grupos das doses mais baixa e intermédia, assim como nos grupos de controlo, a incidência da mortalidade deverá ser baixa para permitir uma avaliação significativa dos resultados.

No caso de a aplicação da substância de ensaio provocar uma grave irritação cutânea, dever-se-á reduzir as concentrações, o que poderá originar uma diminuição ou até um desaparecimento dos outros efeitos tóxicos da dose mais elevada. Se as lesões cutâneas forem muito graves, pode tornar-se necessário interromper a experiência e recomencê-la com concentrações mais fracas.

1.6.2.4. *Teste-limite*

Se já tiver sido efectuada uma experiência preliminar com uma dose de 1 000 mg/kg ou com uma dose mais elevada em função da possibilidade de uma exposição humana conhecida, que não tenha provocado quaisquer efeitos tóxicos, será inútil prosseguir a experiência.

1.6.2.5. *Período de observação*

Os animais da experiência serão observados diariamente para se detectar manifestações de toxicidade. Proceder-se-á ao registo do momento da morte e do momento do aparecimento e do desaparecimento das manifestações de toxicidade.

1.6.3. **Procedimento**

Os animais serão colocados em gaiolas individuais. Em condições ideais a substância de ensaio será administrada aos animais sete dias por semana durante um período de 28 dias. Os animais de todos os grupos-satélite que forem objecto de observações complementares serão mantidos vivos durante mais 14 dias, sem tratamento, para se detectar a recuperação ou a persistência dos efeitos tóxicos. O tempo de exposição será pelo menos de seis horas por dia.

A substância de ensaio será aplicada uniformemente numa área equivalente a 10 % da superfície total do corpo. No caso de substâncias altamente tóxicas, a superfície a utilizar poderá ser menor mas a camada da substância deverá ser o mais fina e uniforme possível.

Durante a exposição a substância de ensaio é mantida em contacto com a pele por meio de uma gaze porosa e de um adesivo antialérgico. A superfície tratada será por sua vez convenientemente coberta de maneira a manter no seu lugar a gaze e a substância de ensaio e de modo a evitar que os animais ingiram a referida substância. É possível utilizar aparelhos de contenção para evitar a ingestão da substância, mas não se recomenda a imobilização completa. Como alternativa pode utilizar-se uma «coleira de protecção».

No fim do tempo de exposição é necessário, se possível, eliminar todos os resíduos da substância utilizando água ou recorrendo a qualquer outro método adequado para limpeza da pele.

Os animais serão observados diariamente, registando-se sempre as manifestações de toxicidade assim como o momento do seu aparecimento, a sua intensidade e a sua duração. Proceder-se-á à observação das modificações do pêlo e da pele, dos olhos e das mucosas, do aparelho respiratório, do aparelho circulatório, do sistema nervoso autónomo e central, assim como da actividade somatomotora e do comportamento. Determinar-se-á semanalmente o peso dos animais. Recomenda-se também que se determine semanalmente o consumo alimentar. Deve observar-se regularmente os animais para se evitar perdas, tanto quanto possível, causadas por canibalismo, autólise dos tecidos ou condições impróprias de alojamento. No fim da experiência todos os animais sobreviventes dos grupos tratados não satélites serão autopsiados. Os animais moribundos e os animais que apresentem graves sintomas de angústia ou dor deverão ser imediatamente retirados, sacrificados e submetidos a autópsia.

Os exames a seguir enunciados deverão ser efectuados no fim do período de ensaio para todos os animais incluindo os de controlo:

1. Um exame hematológico compreendendo os seguintes testes: hematócrito, concentração de hemoglobina, contagem de eritrócitos, contagem de leucócitos, fórmula leucocitária, bem como um estudo sobre o potencial de coagulação.

2. A determinação de dados bioquímicos do sangue incluindo pelo menos um parâmetro da função hepática e renal: alanina aminotransferase (inicialmente conhecida como transaminase glutâmico-pirúvica), aspartato aminotransferase (inicialmente conhecida como transaminase glutâmico-oxaloacética), azoto ureico, albumina, creatinina plasmática, bilirrubina total e as proteínas séricas totais.

As outras análises eventualmente necessárias para uma avaliação toxicológica adequada incluem as análises de cálcio, fósforo, cloretos, sódio, potássio, glicose em jejum, análises de lípidos, de hormonas, equilíbrio ácido-básico, meta-hemoglobina e actividade colinesterásica.

Pode recorrer-se a outras análises bioquímicas clínicas sempre que necessário para melhorar a investigação dos efeitos observados.

1.6.4. Autópsia

Todos os animais submetidos a experiência deverão ser submetidos a uma autópsia geral. Pelo menos o fígado, os rins, as glândulas supra-renais e os testículos deverão ser pesados ainda húmidos, tão cedo quanto possível após a dissecação para se evitar a perda de líquidos por evaporação. Todos os órgãos e tecidos, isto é, pele normal e tratada, fígado, rins, baço, testículos, glândulas supra-renais, coração e órgãos-alvo (isto é, os órgãos que apresentem lesões graves ou variações de volume) deverão ser conservados num meio adequado para eventual exame histopatológico futuro.

1.6.5. Exame histopatológico

No grupo tratado com a dose mais elevada e no grupo de controlo deve efectuar-se o exame histológico dos órgãos e tecidos conservados. Os órgãos e tecidos que apresentem efeitos susceptíveis de serem atribuídos à substância de ensaio administrada na dose mais elevada deverão ser examinados em todos os grupos tratados com doses inferiores. Deve proceder-se a um exame histológico dos animais de qualquer grupo-satélite com particular ênfase sobre os órgãos e tecidos que apresentaram efeitos identificados nos outros grupos tratados.

2. RESULTADOS

Os resultados serão resumidos na forma de quadros indicando, para cada experiência, o número de animais no início do ensaio e o número de animais que apresenta cada tipo de lesão.

Todos os resultados observados deverão ser avaliados por um método estatístico apropriado. Pode ser utilizado qualquer método estatístico reconhecido.

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

- dados sobre os animais (espécie, estirpe, origem, condições ambientais, dieta, etc.),
- condições experimentais (incluindo o tipo de cobertura: oclusiva ou não oclusiva),
- doses (incluindo o veículo, se utilizado) e concentrações,
- dose sem efeito, se possível,
- resposta tóxica por sexo e por dose,
- momento da morte durante a experiência ou indicação dos animais sobreviventes no fim da experiência,
- efeitos tóxicos ou outros,
- momento da observação de qualquer manifestação anormal e sua evolução,

- dados relativos à alimentação e peso corporal,
- exames hematológicos efectuados e resultados,
- provas bioquímicas clínicas utilizadas e seus resultados,
- resultados da autópsia,
- descrição pormenorizada de todos os resultados histopatológicos,
- tratamento estatístico dos resultados, se possível,
- discussão dos resultados,
- interpretação dos resultados.

3.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B (ponto D).

4. REFERÊNCIAS

Ver Introdução Geral, parte B (ponto E).

B.10. MUTAGENICIDADE — ENSAIO *IN VITRO* DE ABERRAÇÕES CROMOSSÓMICAS EM MAMÍFEROS**1. MÉTODO**

O presente método é idêntico ao método OCDE TG 473 — Ensaio *in vitro* de aberrações cromossómicas em mamíferos (1997).

1.1. INTRODUÇÃO

O objectivo do ensaio *in vitro* de aberrações cromossómicas é identificar os agentes que causam aberrações estruturais dos cromossomas em culturas de células de mamíferos (1) (2) (3). As aberrações estruturais podem ser de dois tipos, afectando os cromossomas ou os cromatídeos. A maior parte dos mutagénicos químicos induzem aberrações cromatídicas, mas também podem ocorrer aberrações cromossómicas. Um aumento da taxa de poliploidia pode indicar que um determinado produto químico tem potencial para induzir aberrações numéricas. Contudo, este método não foi concebido para medir as aberrações numéricas nem é normalmente utilizado com esse objectivo. As mutações nos cromossomas e eventos relacionados causam diversas doenças genéticas humanas, existindo provas substanciais de que as alterações que causam nos oncogenes e nos genes supressores de tumores das células somáticas estão envolvidas na indução de cancro nos seres humanos e em animais utilizados em experiências.

O ensaio *in vitro* de aberrações cromossómicas pode envolver culturas de linhas celulares bem estabelecidas, de uma determinada estirpe ou ainda culturas de células primárias. As células utilizadas são seleccionadas com base na sua capacidade de crescimento em cultura, na estabilidade do cariótipo, no número e diversidade dos seus cromossomas e na frequência das aberrações cromossómicas espontâneas.

Os ensaios *in vitro* exigem geralmente a utilização de uma fonte exógena de activação metabólica, que não consegue imitar inteiramente as condições *in vivo* nos mamíferos. Deve ter-se o cuidado de evitar condições que conduzam a resultados positivos que não sejam reflexo de uma mutagenicidade intrínseca mas que possam resultar, por exemplo, de mudanças do pH, da pressão osmótica ou ainda de níveis elevados de citotoxicidade (4) (5).

O presente ensaio é utilizado para a análise de agentes eventualmente mutagénicos ou carcinogénicos para os mamíferos. Muitos dos compostos que dão um resultado positivo no presente ensaio são carcinogénicos nos mamíferos, não existindo, contudo, uma correlação perfeita entre o ensaio e a carcinogenicidade. A correlação depende da classe química e existem cada vez mais provas de que alguns agentes carcinogénicos não são detectados por este ensaio, por os seus mecanismos de actuação não passarem directamente pela danificação do ADN.

Ver também a parte B da Introdução Geral.

1.2. DEFINIÇÕES

Aberração cromatídica: lesão estrutural de um cromossoma expressa na ruptura, ou na ruptura seguida de união, de cromatídeos simples.

Aberração cromossómica: lesão estrutural de um cromossoma expressa na ruptura, ou na ruptura seguida de união, de ambos os cromatídeos no mesmo local.

Endorreduplicação: processo mediante o qual, na sequência de um período S de replicação do ADN, o núcleo não sofre mitose, iniciando-se um novo período S, que resulta em cromossomas com 4, 8, 16, ... cromatídeos.

Lacuna: lesão acromática de extensão inferior à largura de um cromatídeo e que determine um ligeiro desalinhamento do mesmo.

Índice mitótico: relação entre o número de células em metafase e o número total de células observadas numa população de células, que fornece uma indicação do grau de proliferação da população em causa.

Aberração numérica: alteração do número de cromossomas relativamente ao número de cromossomas característico das células utilizadas.

Poliploidia: número de cromossomas múltiplo do número haplóide (n), mas diferente do número diplóide (ou seja, 3n, 4n, etc.).

Aberração estrutural: alteração da estrutura dos cromossomas detectável por exame microscópico das células em metafase, na forma de supressão de segmentos, de alterações de partes da sequência ou da troca de segmentos num cromatídeo ou entre cromatídeos.

1.3. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

As culturas celulares são expostas à substância em estudo tanto na presença como na ausência de um sistema de activação metabólica. Após um período determinado, adiciona-se um produto fixador da metafase (por exemplo, Colcemid® ou colchicina); as células são colhidas, coradas e analisadas microscopicamente para detectar a presença de aberrações cromossómicas nas células em metafase.

1.4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.4.1. **Preparação**

1.4.1.1. *Células*

Podem utilizar-se diversas linhas celulares, estirpes ou culturas celulares primárias, incluindo células humanas (por exemplo: fibroblastos do hamster da China ou linfócitos da circulação periférica do ser humano ou de outros mamíferos).

1.4.1.2. *Meios e condições de cultura*

As culturas devem ser mantidas em meios de cultura e condições de incubação adequados (tipo de recipiente, concentração de CO₂, temperatura e humidade). As linhas celulares e estirpes devem ser periodicamente controladas no que respeita à estabilidade do número modal de cromossomas e à ausência de contaminação por micoplasma, não devendo ser utilizadas se se verificar que foram contaminadas. Deve ser conhecida a duração do ciclo celular normal para as células e condições de cultura utilizadas.

1.4.1.3. *Preparação das culturas*

Linhas e estirpes de células definidas: multiplicam-se as células provenientes de culturas de arranque por incubação a 37 °C num meio cuja densidade não permita a confluência das culturas antes da colheita.

Linfócitos: adiciona-se sangue total tratado com anticoagulante (por exemplo: heparina) ou linfócitos provenientes de indivíduos saudáveis a um meio de cultura contendo um agente mitogénico (por exemplo: fito-hemoglutina), incubando a 37 °C.

1.4.1.4. *Activação metabólica*

As células devem ser expostas à substância em estudo tanto na presença como na ausência de um sistema adequado de activação metabólica. O sistema mais frequentemente utilizado consiste numa fracção pós-mitocondrial reforçada com co-factor (S9) preparada a partir de fígados de roedores tratados com agentes de indução enzimática, como por exemplo Aroclor 1254 (6) (7) (8) (9) ou uma mistura de fenobarbitona e β -naftoflavona (10) (11) (12).

A fracção pós-mitocondrial é geralmente utilizada em concentrações na gama dos 1-10 % v/v no meio de ensaio final. O estado do sistema de activação metabólica pode depender da classe dos produtos químicos em estudo. Em alguns casos pode revelar-se adequado utilizar várias concentrações diferentes de fracção pós-mitocondrial.

Progressos tais como a elaboração por engenharia genética de linhas celulares que expressem enzimas de activação específicos oferecem possibilidades de activação endógena. A escolha das linhas celulares a utilizar terá de ser cientificamente justificada (por exemplo: pela relevância do isoenzima de citocromo P450 para o metabolismo da substância em estudo).

1.4.1.5. *Substância em estudo/preparação*

As substâncias sólidas devem ser dissolvidas ou suspensas em solventes ou veículos adequados e, se necessário, diluídas antes de serem adicionadas às células. As substâncias líquidas podem ser adicionadas directamente aos sistemas em estudo e/ou diluídas antes de serem adicionadas às células. Devem ser utilizadas preparações frescas da substância em estudo, a menos que os dados de estabilidade demonstrem que o respectivo armazenamento não coloca problemas para o ensaio.

1.4.2. **Condições de ensaio**

1.4.2.1. *Solvente/veículo*

O solvente/veículo não deve reagir com a substância em estudo, devendo ser compatível com a sobrevivência das células e com a actividade da mistura S9. Caso se utilizem solventes/veículos cujas propriedades não se encontrem totalmente elucidadas, devem fornecer-se dados que justifiquem a sua compatibilidade. Sempre que possível, recomenda-se a utilização de solventes/veículos aquosos. Quando forem realizados ensaios de substâncias instáveis na presença de água, os solventes orgânicos utilizados devem ser anidros. A água poderá ser removida através de um filtro molecular.

1.4.2.2. *Concentrações de exposição*

A citotoxicidade, a solubilidade no sistema de ensaio e as alterações do pH ou da pressão osmótica constituem alguns dos critérios a ter em conta na determinação da concentração máxima.

A citotoxicidade deve ser determinada na experiência principal tanto na presença como na ausência de um sistema de activação metabólica, por recurso a um indicador adequado da integridade e do crescimento celulares, nomeadamente o grau de confluência, as contagens de células viáveis ou o índice mitótico. Poderá ser útil determinar previamente a citotoxicidade e solubilidade através de uma experiência preliminar.

Devem utilizar-se pelo menos três concentrações analisáveis. No caso de substâncias que sejam citotóxicas, as concentrações utilizadas devem abranger uma gama compreendida entre a toxicidade máxima e uma toxicidade reduzida ou nula; o que significa geralmente que as concentrações devem variar num factor de 2 a $\sqrt{10}$. No momento da colheita, a concentração máxima deve determinar uma redução significativa (superior a 50 %) do grau de confluência, da contagem de células viáveis e do índice mitótico. O índice mitótico constitui uma medida indirecta dos efeitos citotóxicos/citostáticos, dependendo do tempo decorrido após a exposição. Todavia, a sua utilização é aceitável no caso de culturas em suspensão, em que os restantes métodos de determinação da toxicidade podem revelar-se fastidiosos ou impraticáveis. Os dados relativos à cinética do ciclo celular, nomeadamente o tempo médio de geração (TMG), podem ser utilizados como informação suplementar. O TMG constitui, no entanto, uma média global, que nem sempre permite identificar a existência de subpopulações com um crescimento menos rápido, podendo acontecer em alguns casos que ligeiros aumentos do TMG possam resultar em atrasos muito substanciais no que respeita ao surgimento de aberrações.

No caso de substâncias sem efeitos citotóxicos consideráveis, a concentração máxima do ensaio deve ser a mais baixa de 5 µl/ml, 5 mg/ml ou 0,01 M.

Para substâncias relativamente insolúveis que não sejam tóxicas em concentrações inferiores à concentração insolúvel, a dose máxima a utilizar deve corresponder a uma concentração acima do limite de solubilidade no meio de cultura final após o período de exposição. Em alguns casos (por exemplo: quando a toxicidade apenas ocorre em concentrações superiores à menor concentração insolúvel) é conveniente ensaiar mais de uma concentração com precipitação visível. Poderá ser útil avaliar a solubilidade no início e no fim da exposição, uma vez que a mesma se pode alterar durante a exposição no sistema de ensaio devido à presença de células, de S9, de soro, etc. A insolubilidade pode ser detectada à vista desarmada. O precipitado não deve interferir com as contagens necessárias.

1.4.2.3. *Controlos negativos e positivos*

Cada experiência deve incluir em paralelo controlos positivos e negativos (solvente/veículo), tanto na presença como na ausência de um sistema de activação metabólica. Quando for utilizada activação metabólica, o produto químico de controlo positivo deve ser o mesmo que exige a activação para dar uma resposta mutagénica.

Para os controlos positivos deve ser utilizado um agente clastogénico conhecido aos níveis de exposição esperados, de forma a obter um aumento detectável e reprodutível ao longo do tempo que permita demonstrar a sensibilidade do sistema de ensaio.

As concentrações do controlo positivo devem ser escolhidas de modo a que os seus efeitos sejam claros, devendo ser utilizadas lâminas codificadas de forma a que não sejam imediatamente identificáveis pela pessoa que procede à leitura. As substâncias de controlo positivo podem ser, por exemplo:

Condição de activação metabólica	Substância	N.º CAS	N.º EINECS
Ausência de activação metabólica exógena	metanossulfonato de metilo	66-27-3	200-625-0
	metanossulfonato de etilo	62-50-0	200-536-7
	etil nitrosureia	759-73-9	212-072-2
	mitomicina C	50-07-7	200-008-6
	N-óxido de 4-nitroquinolina	56-57-5	200-281-1
Presença de activação metabólica exógena	benzo[a]pireno	50-32-8	200-028-5
	ciclofosfamida ciclofosfamida monohidrato	50-18-0 6055-19-2	200-015-4

Podem utilizar-se no controlo positivo outras substâncias adequadas. A possibilidade de utilização de produtos químicos de uma classe afim para o controlo positivo deve ser considerada, quando existam.

Para cada colheita, devem também realizar-se controlos negativos, em que as células são expostas apenas ao solvente ou veículo e ao meio de tratamento, procedendo-se do mesmo modo que num ensaio normal. Além disso, devem igualmente ser utilizados controlos não expostos à substância em estudo, a menos que já existam dados de controlo que demonstrem que o solvente escolhido não induz nenhum efeito deletério ou mutagénico.

1.4.3. **Procedimento**

1.4.3.1. *Exposição à substância em estudo*

As células em crescimento são expostas à substância em estudo na presença e na ausência de um sistema de activação metabólica. Os linfócitos devem ser expostos à substância em estudo cerca de 48 horas após o estímulo mitogénico.

1.4.3.2. Normalmente, devem ser utilizadas culturas em duplicado para cada concentração, sendo fortemente recomendada a utilização de culturas em duplicado também para os controlos negativos/solventes. Quando puder ser demonstrado, a partir dos dados de experiências anteriores, que a diferença entre as culturas duplicadas é mínima (13) (14), pode aceitar-se a utilização de uma única cultura para cada concentração.

As substâncias gasosas ou voláteis devem ser ensaiadas por métodos apropriados, por exemplo em recipientes selados (15) (16).

1.4.3.3. *Intervalo de amostragem das culturas*

No primeiro ensaio, as células são expostas à substância em estudo, na presença e na ausência de um sistema de activação metabólica, durante 3-6 horas, sendo colhidas a intervalos equivalentes a cerca de 1,5 ciclos celulares normais, a partir do início da exposição (12). Se este protocolo der resultados negativos tanto na presença como na ausência de um sistema de activação, deve ser realizada uma experiência adicional sem activação, com exposição em contínuo até à colheita, passado um tempo equivalente a 1,5 ciclos celulares normais. Certos produtos químicos podem ser detectados mais facilmente com tempos de exposição/colheita superiores a 1,5 ciclos celulares. Os resultados negativos com activação metabólica terão de ser confirmados caso a caso. Nos casos em que a confirmação dos resultados negativos não seja considerada necessária, deve ser apresentada uma justificação.

1.4.3.4. *Preparação dos cromossomas*

As culturas de célula são tratadas com Colcemid® ou colchicina, geralmente durante 1-3 horas antes da colheita. Procede-se à colheita individual das culturas e ao respectivo processamento, com vista à preparação dos cromossomas, que inclui o tratamento hipotónico das células, seguido de fixação e coloração.

1.4.3.5. *Análise*

Todas as lâminas, incluindo as provenientes dos lotes de controlo positivo e negativo, devem ser independentemente codificadas antes da análise microscópica. Uma vez que os processos de fixação dão frequentemente lugar à ruptura de uma determinada proporção das células em metafase, com perda dos cromossomas, as células contabilizadas devem apresentar, para todos os tipos de célula, um número de centrómeros igual ao número modal ± 2 . Devem ser contabilizadas pelo menos 200 metafases com uma boa distribuição para cada concentração e para o controlo, com boa concordância entre os replicados, quando existam. Esse número pode ser inferior caso se observe um número elevado de aberrações.

Embora o objectivo do ensaio consista na detecção de aberrações cromossómicas estruturais, devem registar-se os casos de poliploidia e de endoreduplicação, quando ocorram.

2. **DADOS**

2.1. **TRATAMENTO DOS RESULTADOS**

A unidade experimental é a célula, pelo que se deve avaliar a percentagem de células que apresentam uma aberração cromossómica estrutural. Os diferentes tipos de aberração cromossómica estrutural devem ser enumerados e discriminados pelo seu número e frequência nas culturas experimentais e de controlo. A ocorrência de lacunas é registada em separado e incluída no relatório, mas não é geralmente contabilizada para o cálculo da frequência total das aberrações.

Durante a experiência principal para a detecção de aberrações, devem ser igualmente registadas as medições da citotoxicidade realizadas em paralelo com os ensaios, para todas as culturas de controlo e para os casos de resposta negativa.

Devem ser fornecidos dados individuais para cada cultura, para além de um quadro com o resumo dos dados globais.

Não é necessário comprovar uma reacção positiva inequívoca. Os resultados ambíguos devem ser esclarecidos através de experiências adicionais, de preferência com modificação das condições experimentais. A necessidade de confirmar os resultados negativos já foi discutida no ponto 1.4.3.3. As experiências subsequentes devem contemplar a modificação dos parâmetros de estudo, por forma a alargar a gama de condições avaliadas. Os parâmetros de estudo que podem ser alterados incluem a gama e os intervalos entre as diferentes concentrações e as condições da activação metabólica.

2.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Existem vários critérios para determinar um resultado positivo, nomeadamente o aumento do número de células com aberrações cromossómicas relacionado com a concentração ou que seja reprodutível. Deve atender-se, antes de mais, à importância biológica dos resultados. Como auxílio para a avaliação dos resultados dos ensaios, poderão ser utilizados métodos estatísticos (3) (13), embora a significância estatística não deva ser o único elemento para a determinação de uma resposta positiva.

Um aumento do número de células poliplóides pode indicar que a substância em estudo apresenta o potencial de inibir a mitose e de induzir aberrações cromossómicas numéricas. Um aumento do número de células com cromossomas endorreduplicados pode indicar que a substância em estudo apresenta o potencial de inibir a progressão do ciclo celular (17) (18).

Uma substância cujos resultados não cumpram os critérios supra é considerada não mutagénica para o sistema em causa.

Embora a maioria de experiências tenha resultados claramente positivos ou negativos, em casos raros o conjunto dos dados não permitirá que se obtenha uma opinião inequívoca sobre a actividade da substância em estudo, podendo acontecer que os resultados continuem a ser ambíguos ou duvidosos independentemente do número de vezes que a experiência seja repetida.

Um resultado positivo no ensaio *in vitro* de aberrações cromossómicas indica que a substância em estudo induz aberrações cromossómicas estruturais nas células somáticas de mamíferos em cultura. Um resultado negativo indica que, nas condições do ensaio, a substância em estudo não induz aberrações cromossómicas estruturais nas células somáticas de mamíferos em cultura.

3. APRESENTAÇÃO DE RELATÓRIOS

RELATÓRIO DE ENSAIO

O relatório de ensaio deve incluir a seguinte informação:

Solvente/veículo:

- justificação para a escolha do veículo,
- solubilidade e estabilidade da substância em estudo no solvente/veículo, se conhecida.

Células:

- tipo e origem das células,
- características do cariótipo e adequação do tipo de células utilizado,
- ausência de micoplasma, quando aplicável,
- informação sobre a duração do ciclo celular,
- sexo dos dadores de sangue, sangue completo ou linfócitos, agente mitogénico utilizado,
- número de passagens, quando aplicável,
- métodos de manutenção da cultura celular, quando aplicável,

- número modal de cromossomas.

Condições de ensaio:

- identificação e concentração da substância que pára a metafase, duração da exposição da célula,
- justificação para a selecção das concentrações e do número de culturas, incluindo, por exemplo, dados sobre a citotoxicidade e sobre as limitações de solubilidade, quando disponíveis,
- concentração da substância em estudo,
- volumes adicionados do veículo e da substância em estudo,
- temperatura de incubação,
- tempo de incubação,
- duração da exposição,
- densidade celular da cultura de arranque, quando aplicável,
- tipo e composição do sistema de activação metabólica, incluindo critérios de aceitabilidade,
- controlos positivos e negativos,
- métodos de preparação das lâminas,
- critérios de contabilização das aberrações,
- número de células em metafase analisadas,
- métodos de determinação da toxicidade,
- critérios definidos para que o estudo seja considerado positivo, negativo ou não conclusivo.

Resultados:

- sinais de toxicidade, ou seja, grau de confluência, dados relativos ao ciclo celular, contagens de células, índice mitótico,
- sinais de precipitação,
- dados sobre o pH e a pressão osmótica do meio de tratamento, caso tenham sido determinados,
- definição das aberrações observadas, incluindo as lacunas,
- número de células em que se observa uma aberração cromossómica e tipo dessas aberrações, discriminados para cada cultura exposta e de controlo,
- alterações da ploidia, quando observadas,
- relação dose-resposta, quando seja possível de determinar,

- análise estatística, quando tenha sido realizada,
- dados relativos ao controlo negativo (solvente/veículo) e positivo realizados em paralelo com o ensaio,
- dados históricos sobre o controlo negativo (solvente/veículo) e positivo, com as respectivas gamas, valores médios e desvios-padrão.

Discussão dos resultados.

Conclusões.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Evans, H. J., (1976) Cytological Methods for Detecting Chemical Mutagens. In: Chemical mutagens, Principles and Methods for their Detection, Vol. 4, Hollaender, A. (ed) Plenum Press, New York and London, p. 1-29.
- (2) Ishidate, M. Jr. and Sofuni, T., (1985) The *In Vitro* Chromosomal Aberration Test Using Chinese Hamster Lung (CHL) Fibroblast Cells in Culture. In: Progress in Mutation Research, Vol. 5, Ashby, J. et al., (Eds) Elsevier Science Publishers, Amsterdam-New York-Oxford, p. 427-432.
- (3) Galloway, S.M., Armstrong, M.J., Reuben, C., Colman, S., Brown, B., Cannon, C., Bloom, A.D., Nakamura, F., Ahmed, M., Duk, S., Rimpo, J., Margolin, G.H., Resnick, MA, Anderson, G. and Zeiger, E., (1978) Chromosome aberration and sister chromatic exchanges in Chinese hamster ovary cells: Evaluation of 108 chemicals. *Environ. Molec. Mutagen* 10 (suppl. 10), p. 1-175.
- (4) Scott, D., Galloway, S.M., Marshall, R.R., Ishidate, M.Jr., Brusick, D., Ashby, J. and Myhr, B.C., (1991) Genotoxicity under Extreme Culture Conditions. A report from ICPEMC Task Group 9. *Mutation Res.* 257, p. 147-204.
- (5) Morita, T., Nagaki, T., Fukuda, I. and Okumura, K., (1992) Clastogenicity of low pH to Various Cultured Mammalian Cells. *Mutation Res.*, 268, p. 297-305.
- (6) Ames, B.N., McCann, J. and Yamasaki, E., (1975) Methods for Detecting Carcinogens and Mutagens with the Salmonella/Mammalian Microsome Mutagenicity Test. *Mutation Res.*, 31, p. 347-364.
- (7) Maron, D.M. and Ames, B.N., (1983) Revised Methods for the Salmonella Mutagenicity Test. *Mutation Res.*, 113, p. 173-215.
- (8) Natarajan, A.T., Tate, A.D., van Buul, P.P.W., Meijers, M. and de Vogel, N., (1976) Cytogenetic Effects of Mutagen/Carcinogens after Activation in a Microsomal System *In Vitro*. I. Induction of Chromosome Aberrations and Sister Chromatid Exchange by Diethylnitrosamine (DEN) and Dimethylnitrosamine (DMN) in CHO Cells in the Presence of Rat-Liver Microsomes. *Mutation Res.*, 37, p. 83-90.
- (9) Matsuoka, A., Hayashi, M. and Ishidate, M. Jr., (1979) Chromosomal Aberration Tests on 29 Chemicals Combined with S9 Mix *In Vitro*. *Mutation Res.*, 66, p. 277-290.
- (10) Elliot, B.M., Combes, R.D., Elcombe, C.R., Gatehouse, D.G., Gibson, G.G., Mackay, J.M. and Wolf, R.C., (1992) Report of UK Environmental Mutagen Society Working Party. Alternatives to Aroclor 1254-induced S9 in *In Vitro* Genotoxicity Assays. *Mutagenesis*, 7, p. 175-177.
- (11) Matsushima, T., Sawamura, M., Hara, K. and Sugimura, T., (1976) A Safe Substitute for Polychlorinated Biphenyls as an Inducer of Metabolic Activation Systems. In: de Serres, F.J., Fouts, J.R., Bend, J.R. and Philpot, R.M. (eds) *In Vitro* Metabolic Activation in Mutagenesis Testing, Elsevier, North-Holland, p. 85-88.
- (12) Galloway, S.M., Aardema, M.J., Ishidate, M. Jr., Ivett, J.L., Kirkland, D.J., Morita, T., Mosesso, P., Sofuni, T., (1994) Report from Working Group on *In Vitro* Tests for Chromosomal Aberrations. *Mutation Res.*, 312, p. 241-261.

-
- (13) Richardson, C., Williams, D.A., Allen, J.A., Amphlett, G., Chanter, D.O. and Phillips, B., (1989) Analysis of Data from *In Vitro* Cytogenetic Assays. In: Statistical Evaluation of Mutagenicity Test Data. Kirkland, D.J., (ed) Cambridge University Press, Cambridge, p. 141-154.
- (14) Soper, K.A. and Galloway, S.M., (1994) Replicate Flasks are not Necessary for *In Vitro* Chromosome Aberration Assays in CHO Cells. *Mutation Res.*, 312, p. 139-149.
- (15) Krahn, D.F., Barsky, F.C. and McCooey, K.T., (1982) CHO/HGPRT Mutation Assay: Evaluation of Gases and Volatile Liquids. In: Tice, R.R., Costa, D.L., Schaich, K.M. (eds). *Genotoxic Effects of Airborne Agents*. New York, Plenum, p. 91-103.
- (16) Zamora, P.O., Benson, J.M., Li, A.P. and Brooks, A.L., (1983) Evaluation of an Exposure System Using Cells Grown on Collagen Gels for Detecting Highly Volatile Mutagens in the CHO/HGPRT Mutation Assay. *Environmental Mutagenesis*, 5, p. 795-801.
- (17) Locke-Huhle, C., (1983) Endoreduplication in Chinese hamster cells during alpha-radiation induced G2 arrest. *Mutation Res.*, 119, p. 403-413.
- (18) Huang, Y., Change, C. and Trosko, J.E., (1983) Aphidicolin-induced endoreduplication in Chinese hamster cells. *Cancer Res.*, 43, p. 1362-1364.

B.11. **MUTAGENICIDADE — ENSAIO *IN VIVO* DE ABERRAÇÕES CROMOSSÓMICAS EM CÉLULAS DA MEDULA DE MAMÍFEROS**

1. **MÉTODO**

O presente método é idêntico ao método OCDE TG 475 — Ensaio de aberrações cromossómicas em células da medula de mamíferos (1977).

1.1. **INTRODUÇÃO**

O ensaio de aberrações cromossómicas em células da medula de mamíferos é utilizado para a detecção de aberrações cromossómicas estruturais induzidas pela substância em estudo em células da medula de animais, geralmente roedores (1) (2) (3) (4). As aberrações estruturais podem ser de dois tipos, afectando os cromossomas ou os cromátídeos. A maior parte dos mutagénicos químicos induzem aberrações cromatídicas, mas também podem ocorrer aberrações cromossómicas. Um aumento da taxa de poliploidia pode indicar que um determinado produto químico tem potencial para induzir aberrações numéricas. As mutações cromossómicas e eventos relacionados causam diversas doenças genéticas humanas, existindo provas substanciais de que as alterações que causam nos oncogenes e nos genes supressores de tumores das células somáticas estão envolvidas na indução de cancro nos seres humanos e em animais utilizados em experiências.

Os animais utilizados no presente ensaio são geralmente roedores. A medula é o tecido objectivo do ensaio, por se tratar de um tecido altamente vascularizado e que contém uma população de células com grande ritmo de duplicação e que podem ser facilmente isoladas e processadas. O presente método não se destina à aplicação noutras espécies animais ou tecidos objectivo.

O presente ensaio de aberrações cromossómicas é particularmente relevante para a avaliação dos riscos mutagénicos, uma vez que permite tomar em consideração os factores do metabolismo *in vivo* da farmacocinética e dos processos de reparação do ADN, embora estes possam variar de espécie para espécie e de tecido para tecido. Os ensaios *in vivo* são igualmente úteis para a investigação complementar de efeitos mutagénicos detectados através de ensaios *in vitro*.

Se existirem provas de que nem a substância em estudo nem nenhum dos seus metabolitos reactivos entram em contacto com o tecido objectivo, o presente ensaio não é apropriado.

Ver também a parte B da Introdução Geral.

1.2. **DEFINIÇÕES**

Aberração cromatídica: lesão estrutural de um cromossoma expressa na ruptura, ou na ruptura seguida de união, de cromátídeos simples.

Aberração cromossómica: lesão estrutural de um cromossoma expressa na ruptura, ou na ruptura seguida de união, de ambos os cromátídeos no mesmo local.

Endorreduplicação: processo no qual, após um período S de replicação do ADN, o núcleo não entra em mitose iniciando um novo período S. O resultado são cromossomas com 4, 8, 16, ... cromátídeos.

Lacuna: lesão acromática de extensão inferior à largura de um cromátídeo e que determine um ligeiro desalinhamento do mesmo.

Aberração numérica: alteração do número de cromossomas relativamente ao número de cromossomas característico das células utilizadas.

Poliploidia: número de cromossomas múltiplo do número haplóide (n), mas diferente do número diplóide (ou seja, 3n, 4n, etc.).

Aberração estrutural: alteração da estrutura dos cromossomas detectável por exame microscópico das células em metafase, na forma de supressão de segmentos, de alterações de partes da sequência ou da troca de segmentos num cromátídeo ou entre cromátídeos.

1.3. **PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO**

Os animais são expostos à substância em estudo através de um modo de exposição apropriado, sendo sacrificados passado o tempo necessário após a exposição. Antes do sacrifício, os animais são tratados com um produto fixador da metafase (por exemplo, colchicina ou Colcemid®). Seguidamente, são feitas preparações de cromossomas a partir das células de medula onde, após coloração, as células em metafase são analisadas para detecção de aberrações cromossómicas.

1.4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.4.1. **Preparação**1.4.1.1. *Seleção das espécies animais*

Geralmente, são utilizados ratos, ratazanas ou hamsters chineses, embora possa ser qualquer outra espécie de mamífero apropriada. Devem ser utilizados animais adultos saudáveis jovens das raças de laboratório mais comuns. No início do estudo, a variação de peso entre os animais deve ser mínima, não devendo exceder $\pm 20\%$ do peso médio de cada sexo.

1.4.1.2. *Condições de acomodação e alimentação*

Devem ser aplicadas as condições gerais referidas na Introdução Geral, parte B, embora o objectivo para a humidade deva ser de 50 %-60 %.

1.4.1.3. *Preparação dos animais*

Os animais adultos saudáveis jovens são distribuídos aleatoriamente pelos grupos de controlo e pelos grupos expostos. As gaiolas devem ser dispostas de modo a que eventuais efeitos devidos à respectiva colocação sejam minimizados. Os animais são identificados de forma inequívoca, devendo ser aclimatados às condições de laboratório durante pelo menos cinco dias.

1.4.1.4. *Preparação das doses*

As substâncias sólidas devem ser dissolvidas ou suspensas em solventes ou veículos adequados e, se necessário, diluídas antes de serem adicionadas às células. As substâncias líquidas podem ser adicionadas directamente aos sistemas em estudo e/ou diluídas antes de serem adicionadas às células. Devem ser utilizadas preparações frescas da substância em estudo, a menos que os dados de estabilidade demonstrem que o respectivo armazenamento não coloca problemas para o ensaio.

1.4.2. **Condições do ensaio**1.4.2.1. *Solvente/veículo*

O solvente/veículo não deve reagir com a substância em estudo nem produzir efeitos tóxicos nas doses utilizadas. Caso se utilizem solventes/veículos cujas propriedades não se encontrem totalmente elucidadas, devem fornecer-se dados que justifiquem a sua compatibilidade. Sempre que possível, recomenda-se a utilização de solventes/veículos aquosos.

1.4.2.2. *Controlos*

Cada experiência deve incluir em paralelo controlos positivos e negativos (solvente/veículo) para cada sexo. Com excepção da exposição à substância em estudo, todos os animais, incluindo os dos grupos de controlo, devem ser manuseados de forma idêntica.

Os controlos positivos devem produzir aberrações estruturais *in vivo* aos níveis a que se espera o surgimento de um aumento detectável em relação à linha de base. A dose a administrar para o controlo positivo deve ser escolhida de modo a que os seus efeitos sejam claros mas também a que as lâminas codificadas não sejam imediatamente identificadas pela pessoa que procede às leituras. É aceitável que o controlo positivo seja administrado por uma via diferente da substância em estudo e que só seja realizada uma amostra. A possibilidade de utilização de produtos químicos de uma classe relacionada para o controlo positivo deve ser considerada, quando existam. As substâncias de controlo positivo podem incluir, por exemplo:

Substância	Número CAS	Número EINECS
metanossulfonato de etilo	62-50-0	200-536-7
etilnitrosureia	759-73-9	212-072-2
mitomicina C	50-07-7	200-008-6
ciclofosfamida ciclofosfamida monohidrato	50-18-0 6055-19-2	200-015-4
trietilenomelamina	51-18-3	200-083-5

Para cada colheita devem também realizar-se controlos negativos, em que os animais são expostos apenas ao solvente ou veículo, procedendo-se do mesmo modo que num ensaio normal, a menos que existam dados históricos de controlo aceitáveis em relação à variabilidade de animal para animal e à frequência da ocorrência de células com aberrações cromossómicas. Se só estiver prevista uma amostra dos controlos negativos, a altura mais apropriada é a primeira amostra. Além disso, devem igualmente ser utilizados controlos não expostos à substância em estudo, a menos que já existam dados de estudos anteriores ou publicados que mostrem que o solvente/veículo escolhido não induz nenhum efeito deletério ou mutagénico.

1.5. PROCEDIMENTO

1.5.1. Número e sexo dos animais

Cada grupo de estudo e de controlo deve incluir pelo menos cinco animais analisáveis por sexo. Se no momento do estudo existirem dados disponíveis de estudos com as mesmas espécies e com utilização da mesma via de administração que demonstrem que não há qualquer diferença substancial da toxicidade entre os sexos, será suficiente testar um único sexo. Nos casos em que a exposição humana aos produtos químicos possa ser específica a cada sexo, como acontece com alguns produtos farmacêuticos, o ensaio deve ser executado com animais do sexo em causa.

1.5.2. Programação do tratamento

As substâncias de ensaio são preferivelmente administradas numa única exposição, podendo igualmente ser administradas numa dose dividida, ou seja, duas exposições no mesmo dia, separadas por apenas algumas horas, para facilitar a administração de grandes volumes. Qualquer outro regime de administração terá de ser cientificamente justificado.

Devem ser colhidas duas amostras separadas, após exposição durante um dia. Para os roedores, a primeira amostra deve ser colhida 1,5 ciclos celulares normais (que é normalmente de 12-18 horas) após a exposição. Dado que o tempo necessário para a absorção e metabolismo da substância em estudo, bem como o seu efeito sobre a cinética do ciclo celular, podem afectar o momento óptimo para a detecção de uma eventual aberrações cromossómica, recomenda-se a recolha de uma segunda amostra 24 horas após a primeira. Se forem utilizados regimes de administração ao longo de mais de um dia, deve ser colhida uma amostra 1,5 ciclos celulares normais após a exposição final.

Antes do sacrifício, os animais são injectados intraperitonealmente com uma dose apropriada de um agente de fixação da metafase (por exemplo, Colcemid® ou colchicina). As amostras serão colhidas a intervalos regulares, correspondentes a aproximadamente 3-5 horas para os ratos e a 4-5 horas para os *hamsters* chineses, a partir desse momento. As células da medula são colhidas e analisadas para detecção de aberrações cromossómicas.

1.5.3. Doses

Se for realizado um estudo para avaliação da gama de doses a administrar, por não estarem disponíveis dados apropriados, esse estudo deve ser executado no mesmo laboratório, utilizando as mesmas espécies, linha celular, sexo e regime de exposição a utilizar no estudo principal (5). Se a substância for tóxica, deverão ser utilizadas três doses diferentes para a primeira amostragem, abrangendo uma gama compreendida entre a toxicidade máxima e uma toxicidade reduzida ou quase nula. Na segunda amostragem só será necessário avaliar a dose máxima, que é definida como a dose que produz sinais de toxicidade tais que indiquem que a utilização de doses superiores, com o mesmo regime de administração, produzirá mortalidade. As substâncias com actividade biológica específica em doses baixas e não tóxicas (como acontece com as hormonas e agentes mitogénicos) poderão constituir uma excepção aos critérios de fixação da dose, devendo ser avaliadas caso a caso. A dose máxima pode igualmente ser definida como a dose que produz algumas indicações de toxicidade na medula (por exemplo, uma redução superior a 50 % do índice mitótico).

1.5.4. Ensaio-limite

Se um ensaio com uma dose de pelo menos 2 000 mg/kg de peso corporal numa única exposição ou em duas exposições no mesmo dia não produzir nenhum efeito tóxico perceptível e se, com base nos dados respeitantes a substâncias estruturalmente relacionadas, não for previsível a existência de toxicidade genética, poderá não ser considerado necessário um estudo completo com utilização de três doses diferentes. Para os estudos de maior duração, a dose limite é de 2 000 mg/kg de peso corporal/dia para as exposições até 14 dias e de 1 000 mg/kg de peso corporal/dia para as exposições de duração superior a 14 dias. A exposição prevista para o ser humano pode indicar a necessidade de se utilizarem doses mais elevadas nos ensaios-limite.

1.5.5. Administração das doses

A substância em estudo é geralmente administrada por sonda esofágica, utilizando um tubo estomacal ou cânula de intubação apropriada, ou por injeção intraperitoneal. Poderão ser aceites, mediante justificação, outras vias de administração. O volume máximo de líquido que pode ser administrado de cada vez por sonda esofágica ou por injeção depende também do tamanho do animal de ensaio, não devendo exceder 2 ml/100 g de peso corporal. A utilização de volumes mais elevados deve ser justificada. Com excepção das substâncias que

causem irritação ou que sejam corrosivas, cujos efeitos serão normalmente agravados em concentrações mais altas, a variabilidade do volume de ensaio deve ser minimizada através do ajustamento das concentrações, por forma a garantir um volume constante e independente da dose a administrar.

1.5.6. **Preparação dos cromossomas**

Imediatamente após o sacrifício, a medula é colhida, exposta a uma solução hipotónica e fixada. As células são depois esfregadas em lâminas e coradas.

1.5.7. **Análise**

O índice mitótico deve ser determinado como medição da citotoxicidade em pelos menos 1 000 células por animal para todos os animais expostos à substância em estudo (incluindo os controlos positivos) e para os animais não expostos do controlo negativo.

Devem ser analisadas pelo menos 100 células de cada animal. Este número poderá ser menor quando se verificarem taxas elevadas de aberrações. Todas as lâminas, incluindo as provenientes dos lotes de controlo positivo e negativo, devem ser independentemente codificadas antes da análise microscópica. Uma vez que os processos de fixação dão frequentemente lugar à ruptura de uma determinada proporção das células em metafase, com perda dos cromossomas, as células contabilizadas devem apresentar, para todos os tipos de célula, um número de centrómeros igual ao número modal ± 2 .

2. **DADOS**

2.1. **TRATAMENTO DOS RESULTADOS**

Os dados respeitantes a cada animal devem ser apresentados num quadro. A unidade experimental é o animal. Para cada animal, devem ser apresentados o número de células contabilizadas, o número de aberrações por célula e a percentagem de células com aberrações cromossómicas estruturais. Os diferentes tipos de aberração cromossómica estrutural devem ser enumerados, com os respectivos números e frequências, para os grupos expostos à substância em estudo e para os grupos de controlo. A ocorrência de lacunas é registada em separado e incluída no relatório, mas não é geralmente contabilizada para o cálculo da frequência total das aberrações. Se não houver qualquer evidência de uma diferença na resposta entre os sexos, os dados de ambos os sexos poderão ser combinados para fins estatísticos.

2.2. **AValiação E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS**

Existem vários critérios para determinar um resultado positivo, nomeadamente o aumento do número de células com aberrações cromossómicas relacionado com a concentração ou um claro aumento do número de células com aberrações num determinado grupo ou numa determinada amostra. Deve atender-se, antes de mais, à importância biológica dos resultados. Como auxílio para a avaliação dos resultados dos ensaios, poderão ser utilizados métodos estatísticos (6), embora a significância estatística não deva ser o único elemento para a determinação de uma resposta positiva. Os resultados ambíguos devem ser esclarecidos através de estudos adicionais, de preferência com modificação das condições experimentais.

Um aumento do número de células poliplóides pode indicar que a substância em estudo apresenta o potencial de inibir a mitose e de induzir aberrações cromossómicas numéricas. Um aumento do número de células com cromossomas endorreduplicados pode indicar que a substância em estudo apresenta o potencial de inibir a progressão do ciclo celular (7) (8).

Uma substância cujos resultados não cumpram os critérios *supra* no presente ensaio é considerada não mutagénica.

Embora a maioria de experiências tenha resultados claramente positivos ou negativos, em casos raros o conjunto dos dados não permitirá que se obtenha uma opinião inequívoca sobre a actividade da substância em estudo, podendo acontecer que os resultados continuem a ser ambíguos ou duvidosos independentemente do número de vezes que a experiência seja repetida.

Um resultado positivo no ensaio *in vitro* de aberrações cromossómicas indica que a substância em estudo induz aberrações cromossómicas estruturais nas células da medula das espécies testadas. Um resultado negativo indica que, nas condições do ensaio, a substância em estudo não induz aberrações cromossómicas estruturais nas células da medula das espécies testadas.

Deve ser discutida a probabilidade de a substância em estudo ou os seus metabolitos alcançarem o sistema circulatório geral ou especificamente o tecido objectivo (ou seja, a toxicidade sistémica).

3. APRESENTAÇÃO DE RELATÓRIOS

RELATÓRIO DE ENSAIO

O relatório de ensaio deve incluir a seguinte informação:

Solvente/veículo:

- justificação para a escolha do veículo,
- solubilidade e estabilidade da substância em estudo no solvente/veículo, se conhecida.

Animais de ensaio:

- espécie/linha celular utilizada,
- número, idade e sexo dos animais,
- origem, condições de acomodação, alimentação, etc.,
- peso de cada animal no início do ensaio, incluindo a gama de pesos, a respectiva média e o desvio-padrão para cada grupo.

Condições de ensaio:

- controlos positivos e negativos (veículo/solvente),
- resultados do estudo para definição da gama de doses, quando tenha sido realizado,
- justificação para a selecção das doses,
- preparação da substância em estudo,
- modo de administração da substância em estudo,
- justificação da via de administração escolhida,
- método para a verificação de que a substância em estudo atingiu a circulação geral ou o tecido objectivo, quando aplicável,
- conversão da concentração da substância em estudo (ppm) na alimentação/abeberação para a dose real (mg/kg peso corporal/dia), quando aplicável,
- qualidade dos alimentos e da água,
- descrição pormenorizada dos calendários de exposição e amostragem,
- métodos de medição da toxicidade,
- substância utilizada para fixar a metafase, respectiva concentração e duração de exposição,
- métodos de preparação das lâminas,

- critérios de contabilização das aberrações,
- número de células analisadas por animal,
- critérios definidos para que o estudo seja considerado positivo, negativo ou não conclusivo.

Resultados:

- sinais de toxicidade,
- índice mitótico,
- tipo e número de aberrações observadas em cada animal,
- número total de aberrações em cada grupo, com as respectivas médias e desvios-padrão,
- número de células aberrantes em cada grupo, com as respectivas médias e desvios-padrão,
- alterações da ploidia, quando observadas,
- relação dose-resposta, quando seja possível de determinar,
- análise estatística, quando tenha sido realizada,
- dados relativos ao controlo negativo realizado em paralelo com o ensaio,
- dados históricos sobre o controlo negativo com as respectivas gamas, valores médios e desvios-padrão,
- dados relativos ao controlo positivo realizado em paralelo com o ensaio.

Discussão dos resultados.

Conclusões.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Adler, I.D., (1984) Cytogenetic Tests in Mammals. In: Mutagenicity Testing: a Practical Approach. S. Venitt and J.M. Parry (Eds). IRL Press, Oxford, Washington D.C., p. 275-306.
- (2) Preston, R.J., Dean, B.J., Galloway, S., Holden, H., McFee, A.F. and Shelby, M. (1987). Mammalian *In Vivo* Cytogenetic Assays: Analysis of Chromosome Aberrations in Bone Marrow Cells. *Mutation Res.*, 189, p. 157-165.
- (3) Richold, M., Chandley, A., Ashby, J., Gatehouse, D.G., Bootman, J. and Henderson, L., (1990) *In Vivo* Cytogenetic Assays. In: D.J. Kirkland (Ed.) Basic Mutagenicity Tests, UKEMS Recommended Procedures. UKEMS Sub-Committee on Guidelines for Mutagenicity Testing. Report. Part I revised. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney, p. 115-141.
- (4) Tice, R.R., Hayashi, M., MacGregor, J.T., Anderson, D., Blakey, D.H., Holden, H.E., Kirsch-Volders, M., Oleson Jr., F.B., Pacchierotti, F., Preston, R.J., Romagna, F., Shimada, H., Sutou, S. and Vannier, B., (1994) Report from the Working Group on the *In Vivo* Mammalian Bone Marrow Chromosomal Aberration Test. *Mutation Res.*, 312, p. 305-312.

-
- (5) Fielder, R.J., Allen, J.A., Boobis, A.R., Botham, P.A., Doe, J., Esdaile, D.J., Gatehouse, D.G., Hodson-Walker, G., Morton, D.B., Kirkland, D.J. and Richold, M. (1992). Report of British Toxicology Society/UK Environmental Mutagen Society Working Group: Dose setting in *In vivo* Mutagenicity Assays. *Mutagenesis*, 7, p. 313-319.
 - (6) Lovell, D.P., Anderson, D., Albanese, R., Amphlett, G.E., Clare, G., Ferguson, R., Richold, M., Papworth, D.G. and Savage, J.R.K. (1989). Statistical Analysis of *In Vivo* Cytogenetic Assays. In: UKEMS Sub-Committee on Guidelines for Mutagenicity Testing. Report Part III. Statistical Evaluation of Mutagenicity Test Data. D.J. Kirkland, (Ed.) Cambridge University Press, Cambridge. p. 184-232.
 - (7) Locke-Huhle, C., (1983) Endoreduplication in Chinese hamster cells during alpha-radiation induced G2 arrest. *Mutation Res.* 119, p. 403-413.
 - (8) Huang, Y., Change, C. and Trosko, J.E., (1983) Aphidicolin-induced endoreduplication in Chinese hamster cells. *Cancer Res.*, 43, p. 1362-1364.

B.1.2. MUTAGENICIDADE — ENSAIO *IN VIVO* DOS MICRONÚCLEOS EM ERITRÓCITOS DE MAMÍFEROS**1. MÉTODO**

O presente método é idêntico ao método OCDE TG 474 — Ensaio dos micronúcleos em eritrócitos de mamíferos (1997).

1.1. INTRODUÇÃO

O ensaio *in vivo* dos micronúcleos de mamíferos é utilizado para a detecção de danos induzidos pela substância em estudo nos cromossomas ou no aparelho mitótico dos eritoblastos, através da análise dos eritrócitos retirados da medula e/ou de células de sangue periférico de animais, geralmente roedores.

O objectivo do ensaio do micronúcleo é identificar substâncias que causam danos citogénicos, dando lugar à formação de micronúcleos com fragmentos de cromossoma ou com cromossomas inteiros.

Quando um eritoblasto da medula se desenvolve para dar um eritrócito policromático, o núcleo principal é expulso; qualquer micronúcleo que tenha sido formado pode «ficar para trás» (*lagging*), no citoplasma, onde não deveria existir qualquer material nuclear. A visualização dos micronúcleos é facilitada nestas células, uma vez que não existe um núcleo principal. Um aumento de frequência de eritrócitos policromáticos, micronucleados, nos animais expostos à substância em estudo representa uma indicação de danos cromossómicos induzidos.

Para o presente ensaio utiliza-se normalmente a medula de roedores, uma vez que os eritrócitos policromáticos são produzidos nesse tecido. A medição dos eritrócitos (policromáticos) imaturos micronucleados no sangue periférico é igualmente aceitável para qualquer outra espécie em que tenha sido demonstrado que o baço não tem a capacidade de eliminar os eritrócitos micronucleados ou que apresente uma sensibilidade adequada para a detecção de agentes que causam aberrações cromossómicas estruturais ou numéricas. Os micronúcleos podem ser distinguidos por alguns critérios, que incluem a identificação da presença ou ausência de um centrómero ou de ADN centromérico nos micronúcleos. A frequência dos eritrócitos (policromáticos) imaturos micronucleados é o principal ponto final utilizado. A proporção de eritrócitos (normocromáticos) maduros com micronúcleos no sangue periférico pode igualmente ser utilizada como ponto final do ensaio quando os animais forem expostos à substância em estudo de forma contínua durante quatro semanas ou mais.

O ensaio *in vivo* do micronúcleo de mamíferos é particularmente relevante para a avaliação dos perigos mutagénicos, uma vez que permite a avaliação dos elementos metabólicos, da farmacocinética e dos processos de reparação do ADN *in vivo*, embora estes possam variar de espécie para espécie, de tecido para tecido e em termos do ponto final genético. Os ensaios *in vivo* são igualmente úteis para a investigação suplementar de um efeito mutagénico detectado *in vitro*.

Se existirem provas de que nem a substância em estudo nem nenhum dos seus metabolitos reactivos entram em contacto com o tecido objectivo, o presente ensaio não é apropriado.

Ver também a parte B da Introdução Geral.

1.2. DEFINIÇÕES

Centrómero: Região(ões) de um cromossoma a que estão associadas fibras fusiformes durante a divisão celular, permitindo o movimento ordeiro dos cromossomas para os pólos da célula.

Micronúcleos: Pequenos núcleos separados e adicionais dos núcleos das células principais, produzidos durante a telófase da mitose (meiose) por fragmentos do cromossoma ou cromossomas inteiros que «ficam para trás» (*lagging*).

Eritrócito normocromático: Eritrócito maduro a que faltam ribossomas e que pode, por conseguinte, distinguir-se dos eritrócitos policromáticos imaturos por coloração selectiva dos ribossomas.

Eritrócito policromático: Eritrócito imaturo, numa fase de desenvolvimento intermediária, que ainda contém ribossomas e pode, por conseguinte, distinguir-se dos eritrócitos normocromáticos maduros por coloração selectiva dos ribossomas.

1.3. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Os animais são expostos à substância em estudo por uma via apropriada. Se for utilizada a medula, os animais são sacrificados passado o tempo necessário após a exposição, a medula é extraída e são feitas preparações coradas (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7). Quando é utilizado o sangue periférico, o sangue é recolhido passado o tempo necessário após a exposição e são preparados esfregaços corados (4) (8) (9) (10). Nos estudos com sangue periférico, as amostras de célula devem ser colhidas tão cedo quanto possível após a última exposição à substância em estudo. As preparações são analisadas para a presença de micronúcleos.

1.4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.4.1. **Preparação**

1.4.1.1. *Seleção das espécies animais*

Quando se pretender utilizar preparações da medula, recomenda-se a utilização de ratos ou ratazanas, embora possa ser utilizada qualquer espécie de mamífero que seja apropriada. Quando se utilizar o sangue periférico, recomenda-se a utilização de ratos. Contudo, pode ser utilizada qualquer espécie de mamífero que seja apropriada, desde que se trate de uma espécie em que o baço não remove os eritrócitos micronucleados ou que apresente uma sensibilidade adequada para a detecção de agentes que causam aberrações cromossómicas estruturais ou numéricas. Devem ser utilizados animais saudáveis jovens de linhas de laboratório com características bem conhecidas. No início do estudo, a diferença de peso entre os animais deve ser mínima, não devendo exceder + 20 % do peso médio de cada sexo.

1.4.1.2. *Condições de acomodação e alimentação*

Devem ser aplicadas as condições gerais referidas na Introdução Geral, parte B, embora o objectivo para a humidade deva ser de 50 %-60 %.

1.4.1.3. *Preparação dos animais*

Os animais adultos saudáveis jovens são distribuídos aleatoriamente pelos grupos de controlo e pelos grupos expostos. Os animais são identificados de forma inequívoca, devendo ser aclimatados às condições de laboratório durante pelo menos cinco dias. As gaiolas devem ser dispostas de modo a que eventuais efeitos devidos à respectiva colocação sejam minimizados.

1.4.1.4. *Preparação das doses*

As substâncias sólidas devem ser dissolvidas ou suspensas em solventes ou veículos adequados e, se necessário, diluídas antes de serem administradas aos animais. As substâncias líquidas podem ser adicionadas directamente aos sistemas em estudo e/ou diluídas antes de serem adicionadas às células. Devem ser utilizadas preparações frescas da substância em estudo, a menos que os dados de estabilidade demonstrem que o respectivo armazenamento não coloca problemas para o ensaio.

1.4.2. **Condições do ensaio**

1.4.2.1. *Solvente/veículo*

O solvente/veículo não deve reagir com a substância em estudo nem produzir efeitos tóxicos nas doses utilizadas. Caso se utilizem solventes/veículos cujas propriedades não se encontrem totalmente elucidadas, devem fornecer-se dados que justifiquem a sua compatibilidade. Sempre que possível, recomenda-se a utilização de solventes/veículos aquosos.

1.4.2.2. *Controlos*

Cada experiência deve incluir em paralelo controlos positivos e negativos (solvente/veículo) para cada sexo. Com excepção da exposição à substância em estudo, todos os animais, incluindo os dos grupos de controlo, devem ser manuseados de forma idêntica.

Os controlos positivos devem produzir micronúcleos *in vivo* aos níveis de exposição a que se espera o surgimento de um aumento detectável em relação à linha de base. A dose de controlo positivo a administrar deve ser escolhida de modo a que os seus efeitos sejam claros mas também a que as lâminas codificadas não sejam imediatamente identificadas pela pessoa que procede às leituras. É aceitável que o controlo positivo seja administrado por uma via diferente da substância em estudo e que só seja realizada uma amostra. A possibilidade de utilização de produtos químicos de uma classe relacionada para o controlo positivo deve ser considerada, quando existam. As substâncias de controlo positivo podem incluir, por exemplo:

Substância	Número CAS	Número EINECS
metanossulfonato de etilo	62-50-0	200-536-7
etilnitrosureia	759-73-9	212-072-2
mitomicina C	50-07-7	200-008-6
ciclofosfamida	50-18-0	200-015-4
ciclofosfamida monohidrato	6055-19-2	
trietilenomelamina	51-18-3	200-08 3-5

Para cada colheita devem também realizar-se controlos negativos, em que os animais são expostos apenas ao solvente ou veículo, procedendo-se do mesmo modo que num ensaio normal, a menos que existam dados históricos de controlo aceitáveis em relação à variabilidade de animal para animal e à frequência da ocorrência de células com aberrações cromossómicas. Se só estiver prevista uma amostra dos controlos negativos, a altura mais apropriada é a primeira amostra. Além disso, devem igualmente ser utilizados controlos não expostos à substância em estudo, a menos que já existam dados de estudos anteriores ou publicados que mostrem que o solvente/veículo escolhido não induz nenhum efeito deletério ou mutagénico.

Se for utilizado o sangue periférico, uma amostra anterior à exposição poderá servir para o controlo negativo, mas apenas nos estudos de menor duração (ou seja, 1 a 3 exposições), desde que os dados respeitantes a essa amostra estejam de acordo com o esperado em função de experiências anteriores.

1.5. PROCEDIMENTO

1.5.1. Número e sexo dos animais

Cada grupo exposto e de controlo deve incluir pelo menos cinco animais analisáveis por sexo (11). Se no momento do estudo existirem dados disponíveis de estudos com as mesmas espécies e com utilização da mesma via de administração que demonstrem que não há qualquer diferença substancial da toxicidade entre os sexos, será suficiente testar um único sexo. Nos casos em que a exposição humana aos produtos químicos possa ser específica a cada sexo, como acontece com alguns produtos farmacêuticos, o ensaio deve ser executado com animais do sexo em causa.

1.5.2. Programação do tratamento

Não é possível recomendar qualquer programação específica para a exposição (ou seja, uma, duas ou mais exposições com intervalos de 24 horas). As amostras recolhidas durante regimes de administração prolongada são aceitáveis, desde que o estudo demonstre a existência de um efeito positivo ou, para um estudo negativo, desde que a toxicidade seja demonstrada ou que se utilize uma dose limite, com administração até ao momento da colheita. As substâncias de ensaio podem igualmente ser administradas numa dose dividida, ou seja, duas exposições no mesmo dia, separadas por apenas algumas horas, para facilitar a administração de grandes volumes.

O ensaio pode ser executado de duas formas:

- Os animais são expostos à substância em estudo uma única vez. As amostras de medula são colhidas pelo menos duas vezes, a primeira das quais pelo menos 24 horas após a exposição, com intervalos apropriados entre as colheitas mas não ultrapassando as 48 horas após a exposição. Uma eventual colheita antes de 24 horas após a exposição terá de ser justificada. As amostras de sangue periférico são colhidas pelo menos duas vezes, a primeira das quais pelo menos 36 horas após a exposição, com intervalos apropriados entre as colheitas, mas não ultrapassando as 72 horas após a exposição. Quando for identificada uma resposta positiva numa determinada colheita, não será necessário continuar o estudo;

- b) Se forem utilizadas duas ou mais exposições diárias (por exemplo, duas ou mais exposições com intervalos de 24 horas), a primeira amostra deve ser colhida 18 a 24 horas depois da exposição final no caso do sangue periférico (12).

Quando necessário, poderão ser recolhidas amostras adicionais.

1.5.3. Doses

Se for realizado um estudo para avaliação da gama de doses a administrar, por não estarem disponíveis dados apropriados, esse estudo deve ser executado no mesmo laboratório, utilizando as mesmas espécies, linha celular, sexo e regime de exposição a utilizar no estudo principal (13). Se a substância for tóxica deverão ser utilizadas três doses diferentes para a primeira amostragem, abrangendo uma gama compreendida entre a toxicidade máxima e uma toxicidade reduzida ou quase nula. Na segunda amostragem só será necessário avaliar a dose máxima, que é definida como a dose que produz sinais de toxicidade tais que indiquem que a utilização a doses superiores, com o mesmo regime de administração, produzirá mortalidade. As substâncias com actividade biológica específica em doses baixas e não tóxicas (como acontece com as hormonas e agentes mitogénicos) poderão constituir uma excepção aos critérios de fixação da dose, devendo ser avaliadas caso a caso. A dose máxima pode igualmente ser definida como a dose que produz algumas indicações de toxicidade na medula (por exemplo, redução da proporção de eritrócitos imaturos em relação aos eritrócitos totais na medula ou no sangue periférico).

1.5.4. Ensaio-limite

Se um ensaio com uma dose de pelo menos 2 000 mg/kg de peso corporal numa única exposição ou em duas exposições no mesmo dia não produzir nenhum efeito tóxico perceptível e se, com base nos dados respeitantes a substâncias estruturalmente relacionadas, não for previsível a existência de toxicidade genética, poderá não ser considerado necessário um estudo completo com utilização de três doses diferentes. Para os estudos de maior duração a dose limite é de 2 000 mg/kg de peso corporal/dia para as exposições até 14 dias e de 1 000 mg/kg de peso corporal/dia para as exposições de duração superior a 14 dias. A exposição prevista para o ser humano pode indicar a necessidade de se utilizarem doses mais elevadas nos ensaios-limite.

1.5.5. Administração das doses

A substância em estudo é geralmente administrada por sonda esofágica, utilizando um tubo estomacal ou cânula de intubação apropriada, ou por injeção intraperitoneal. Poderão ser aceites, mediante justificação, outras vias de administração. O volume máximo de líquido que pode ser administrado de cada vez por sonda esofágica ou por injeção depende também do tamanho do animal de ensaio, não devendo exceder 2 ml/100 g de peso corporal. A utilização de volumes mais elevados deve ser justificada. Com excepção das substâncias que causem irritação ou que sejam corrosivas, cujos efeitos serão normalmente agravados em concentrações mais altas, a variabilidade do volume de ensaio deve ser minimizada através do ajustamento das concentrações, por forma a garantir um volume constante e independente da dose a administrar.

1.5.6. Preparação da medula/sangue

As células da medula são retiradas do fémur ou da tíbia imediatamente após o sacrifício. Geralmente, as células são retiradas do fémur ou da tíbia, preparadas e coradas de acordo com métodos já definidos. O sangue periférico é retirado da veia caudal ou de outro vaso sanguíneo apropriado. As células de sangue são imediatamente sujeitas a uma coloração supravital (8) (9) (10) ou então são preparados esfregaços que depois são corados. A utilização de uma coloração específica para o ADN [por exemplo, laranja de acridina (14) ou pironina-y de milho 33 258 *plus* da Hoechst (15)] pode eliminar alguns dos erros associados à utilização de uma coloração não específica para o ADN. Esta vantagem não impossibilita a utilização de colorações convencionais (por exemplo, Giemsa). Outros sistemas [por exemplo, colunas de celulose para remoção das células nucleadas (16)] podem igualmente ser utilizados, desde que se demonstre que esses sistemas funcionam de forma adequada para a preparação de micronúcleos em laboratório.

1.5.7. Análise

A proporção de eritrócitos imaturos em relação aos eritrócitos totais (imaturos + maduros) é determinada para cada animal através da contagem de pelo menos 200 eritrócitos no caso da medula e de 1 000 eritrócitos no caso do sangue periférico (17). Todas as lâminas, incluindo as dos controlos positivos e negativos, devem ser codificadas independentemente antes da análise microscópica. A eventual ocorrência de eritrócitos imaturos micronucleados deve ser analisada em pelo menos 2 000 eritrócitos imaturos por animal. A contagem de eritrócitos maduros micronucleados poderá ser utilizada como informação adicional. Ao analisar as lâminas, a proporção de eritrócitos imaturos em relação aos eritrócitos totais não deve ser inferior a 20 % do valor de controlo. Quando os animais forem sujeitos a uma exposição contínua durante quatro semanas ou mais, poderão ser também analisados 2 000 eritrócitos maduros por animal, para determinação da ocorrência de micronúcleos. Os sistemas automatizados de análise (tratamento de imagens e citometria de fluxo e suspensões celulares) são alternativas aceitáveis à avaliação manual, se apropriadamente justificadas e validadas.

2. DADOS

2.1. TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Os dados respeitantes a cada animal devem ser apresentados num quadro. A unidade experimental é o animal. Para cada animal, devem ser verificados separadamente o número de eritrócitos imaturos, o número de eritrócitos imaturos micronucleados e a proporção de eritrócitos imaturos em relação aos eritrócitos totais. Quando os animais tiverem sido expostos à substância em estudo em contínuo durante quatro semanas ou mais, devem também ser recolhidos dados em relação aos eritrócitos maduros. Para cada animal, deve ser apresentada a proporção de eritrócitos imaturos em relação aos eritrócitos totais e, se for considerado necessário, de eritrócitos maduros micronucleados. Se não houver qualquer evidência de uma diferença na resposta entre os sexos, os dados de ambos os sexos poderão ser combinados para fins estatísticos.

2.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Há diversos critérios para determinar um resultado positivo, como por exemplo um aumento do número de células micronucleadas relacionado com a dose ou um claro aumento do número de células micronucleadas num determinado grupo e numa determinada amostragem. Deve ser tomada em consideração, antes de mais, a importância biológica dos resultados. Como auxílio para a avaliação dos resultados dos ensaios poderão ser utilizados métodos estatísticos (18) (19), embora a significância estatística não deva ser o único elemento para a determinação de uma resposta positiva. Os resultados ambíguos devem ser esclarecidos através de estudos adicionais, de preferência com modificação das condições experimentais.

Uma substância cujos resultados não cumpram os critérios acima indicados no presente ensaio é considerada não mutagénica.

Embora a maioria de experiências tenha resultados claramente positivos ou negativos, em casos raros o conjunto dos dados não permitirá que se obtenha uma opinião inequívoca sobre a actividade da substância em estudo, podendo acontecer que os resultados continuem a ser ambíguos ou duvidosos independentemente do número de vezes que a experiência seja repetida.

Um resultado positivo no ensaio dos micronúcleos indica que a substância em estudo induz a ocorrência dos mesmos, como resultado de danos nos cromossomas ou no sistema mitótico dos eritroblastos da espécie testada. Um resultado negativo indica que, nas condições do ensaio, a substância em estudo não induz a ocorrência de micronúcleos nos eritroblastos imaturos da espécie testada.

Deve ser discutida a probabilidade de a substância em estudo ou os seus metabolitos alcançarem o sistema circulatório geral ou especificamente o tecido objectivo (ou seja, a toxicidade sistémica).

3. APRESENTAÇÃO DE RELATÓRIOS

RELATÓRIO DE ENSAIO

O relatório de ensaio deve incluir a seguinte informação:

Solvente/veículo:

- justificação para a escolha do veículo,
- solubilidade e estabilidade da substância em estudo no solvente/veículo, se conhecida.

Animais de ensaio:

- espécie/linha celular utilizada,
- número, idade e sexo dos animais,
- origem, condições de acomodação, alimentação, etc.,
- peso de cada animal no início do ensaio, incluindo a gama de pesos, a respectiva média e o desvio-padrão para cada grupo.

Condições de ensaio:

- controlos positivos e negativos (veículo/solvente),
- resultados do estudo para definição da gama de doses, quando tenha sido realizado,
- justificação para a selecção das doses,
- preparação da substância em estudo,
- modo de administração da substância em estudo,
- justificação da via de administração escolhida,
- método para a verificação de que a substância em estudo atingiu a circulação geral ou o tecido objectivo, quando aplicável,
- conversão da concentração da substância em estudo (ppm) na alimentação/abeberação para a dose real (mg/kg peso corporal/dia), quando aplicável,
- qualidade dos alimentos e da água,
- descrição pormenorizada dos calendários de exposição e amostragem,
- métodos de preparação das lâminas,
- métodos de medição da toxicidade,
- critérios de contabilização dos eritrócitos imaturos micronucleados,
- número de células analisadas por animal,
- critérios definidos para que o estudo seja considerado positivo, negativo ou não conclusivo.

Resultados:

- sinais de toxicidade,
- proporção de eritrócitos imaturos em relação aos eritrócitos totais,
- número de eritrócitos imaturos micronucleados em cada animal,
- médias e desvios-padrão dos eritrócitos imaturos micronucleados por grupo,
- relação dose-resposta, quando seja possível de determinar,
- análise estatística e respectivo método,
- dados relativos ao controlo negativo realizado em paralelo com o ensaio e dados históricos sobre o controlo negativo,
- dados relativos ao controlo positivo realizado em paralelo com o ensaio.

- Discussão dos resultados.
- Conclusões.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Heddle, J.A., (1973) A Rapid *In Vivo* Test for Chromosomal Damage, *Mutation Res.*, 18, p. 187-190.
- (2) Schmid, W., (1975) The Micronucleus Test, *Mutation Res.*, 31, p. 9-15.
- (3) Heddle, J.A., Salamone, M.F., Hite, M., Kirkhart, B., Mavournin, K., MacGregor, J.G. and Newell, G.W., (1983) The Induction of Micronuclei as a Measure of Genotoxicity. *Mutation Res.*, 123, p. 61-118.
- (4) Mavournin, K.H., Blakey, D.H., Cimino, M.C., Salamone, M.F. and Heddle, J.A., (1990) The *In Vivo* Micronucleus Assay in Mammalian Bone Marrow and Peripheral Blood. A report of the U.S. Environmental Protection Agency Gene-Tox Program, *Mutation Res.*, 239, p. 29-80.
- (5) MacGregor, J.T., Schlegel, R. Choy, W.N., and Wehr, C.M., (1983) Micronuclei in Circulating Erythrocytes: A Rapid Screen for Chromosomal Damage During Routine Toxicity Testing in Mice. In: «Developments in Science and Practice of Toxicology», Ed. A.W. Hayes, R.C. Schnell and T.S. Miya, Elsevier, Amsterdam, p. 555-558.
- (6) MacGregor, J.T., Heddle, J.A. Hite, M., Margolin, G.H., Ramel, C., Salamone, M.F., Tice, R.R., and Wild, D., (1987) Guidelines for the Conduct of Micronucleus Assays in Mammalian Bone Marrow Erythrocytes. *Mutation Res.*, 189, p. 103-112.
- (7) MacGregor, J.T., Wehr, C.M., Henika, P.R., and Shelby, M.E., (1990) The *in vivo* Erythrocyte Micronucleus Test: Measurement at Steady State Increases Assay Efficiency and Permits Integration with Toxicity Studies. *Fund. Appl. Toxicol.*, 14, p. 513-522.
- (8) Hayashi, M., Morita, T., Kodama, Y., Sofuni, T. and Ishidate, M. Jr., (1990) The Micronucleus Assay with Mouse Peripheral Blood Reticulocytes Using Acridine Orange-Coated Slides. *Mutation Res.*, 245, p. 245-249.
- (9) The Collaborative Study Group for the Micronucleus Test, (1992) Micronucleus Test with Mouse Peripheral Blood Erythrocytes by Acridine Orange Supravital Staining: The Summary Report of the 5th Collaborative Study by CSGMT/JEMMS. MMS. *Mutation Res.*, 278, p. 83-98.
- (10) The Collaborative Study Group for the Micronucleus Test (CSGMT/JEMMS. MMS: The Mammalian Mutagenesis Study Group of the Environmental Mutagen Society of Japan), (1995) Protocol recommended for the short-term mouse peripheral blood micronucleus test. *Mutagenesis*, 10, p. 153-159.
- (11) Hayashi, M., Tice, R.R., MacGregor, J.T., Anderson, D., Blackey, D.H., Kirsch-Volders, M., Oleson, Jr. F. B., Pacchierotti, F., Romagna, F., Shimada, H., Sutou, S. and Vannier, B., (1994) *In Vivo* Rodent Erythrocyte Micronucleus Assay. *Mutation Res.*, 312, p. 293-304.
- (12) Higashikuni, N. and Sutou, S., (1995) An optimal, generalized sampling time of 30 ± 6 h after double dosing in the mouse peripheral blood micronucleus test. *Mutagenesis*, 10, p. 313-319.
- (13) Fielder, R.J., Allen, J.A., Boobis, A.R., Botham, P.A., Doe, J., Esdaile, D.J., Gatehouse, D.G., Hodson-Walker, G., Morton, D.B., Kirkland, D.J. and Rochold, M., (1992) Report of British Toxicology Society/UK Environmental Mutagen Society Working Group: Dose Setting in *In Vivo* Mutagenicity Assays. *Mutagenesis*, 7, p. 313-319.
- (14) Hayashi, M., Sofuni, T. and Ishidate, M. Jr., (1983) An Application of Acridine Orange Fluorescent Staining to the Micronucleus Test. *Mutation Res.*, 120, p. 241-247.

-
- (15) MacGregor, J.T., Wehr, C.M. and Langlois, R.G., (1983) A Simple Fluorescent Staining Procedure for Micronuclei and RNA in Erythrocytes Using Hoechst 33258 and Pyronin Y. *Mutation Res.*, 120, p. 269-275.
- (16) Romagna, F. and Staniforth, C.D., (1989) The automated bone marrow micronucleus test. *Mutation Res.*, 213, p. 91-104.
- (17) Gollapudi, B. and McFadden, L.G., (1995) Sample size for the estimation of polychromatic to normochromatic erythrocyte ratio in the bone marrow micronucleus test. *Mutation Res.*, 347, p. 97-99.
- (18) Richold, M., Ashby, J., Bootman, J., Chandley, A., Gatehouse, D.G. and Henderson, L., (1990) *In Vivo* Cytogenetics Assay. In: D.J. Kirkland (Ed.) Basic Mutagenicity tests. UKEMS Recommended Procedures. UKEMS Sub-Committee on Guidelines for Mutagenicity Testing. Report, Part I, revised. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney, p. 115-141.
- (19) Lovell, D.P., Anderson, D., Albanese, R., Amphlett, G.E., Clare, G., Ferguson, R., Richold, M., Papworth, D.G. and Savage, J.R.K., (1989) Statistical Analysis of *In Vivo* Cytogenetic Assays. In: D.J. Kirkland (Ed.) Statistical Evaluation of Mutagenicity Test Data. UKEMS Sub-Committee on Guidelines for Mutagenicity Testing. Report, Part III. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney, p. 184-232.

B.13./14. MUTAGENICIDADE — ENSAIO DE MUTAÇÃO REVERSA EM BACTÉRIAS

1. MÉTODO

O presente método é idêntico ao método OCDE TG 471 — Ensaio de mutação reversa bacteriana (1997).

1.1. INTRODUÇÃO

O ensaio de mutação reversa bacteriana utiliza estirpes de *Salmonelas typhimurium* e *Escherichia coli* carentes em aminoácidos para detectar mutações pontuais, causadas pela substituição, adição ou supressão de um ou mais pares de bases do ADN (1) (2) (3). O princípio do presente ensaio de mutação reversa bacteriana é a detecção de mutações que invertem as mutações existentes nas estirpes de ensaio, restaurando a capacidade funcional das bactérias sintetizarem um ácido essencial. As bactérias com mutação reversa são detectadas pela sua capacidade de crescimento na ausência do aminoácido em que as estirpes de ensaio eram carentes.

As mutações pontuais causam diversas doenças genéticas humanas, existindo provas substanciais de que as mutações pontuais em oncogenes e em genes supressores de tumores nas células somáticas estão envolvidas na formação de tumores nos seres humanos e em animais experimentais. O ensaio de mutação reversa bacteriana é rápido, barato e de relativamente fácil execução. Muitas das estirpes de ensaio têm diversas características que as tornam mais sensíveis para a detecção de mutações, nomeadamente sequências de ADN identificativas dos locais de inversão, aumento da permeabilidade celular a grandes moléculas e eliminação ou aumento da ocorrência de erros nos processos de reparação do ADN. A especificidade das estirpes de ensaio pode fornecer alguma informação útil sobre os tipos de mutações induzidos pelos agentes genotóxicos. Já existe uma grande base de dados com resultados respeitantes a uma vasta gama de ensaios de mutação reversa bacteriana, tendo sido desenvolvidas metodologias com características bem conhecidas e que utilizam produtos químicos com diferentes propriedades físico-químicas, nomeadamente compostos temporários.

Ver também a parte B da Introdução Geral.

1.2. DEFINIÇÕES

Ensaio de mutação reversa com *Salmonelas typhimurium* ou *Escherichia coli*: detecta mutações em estirpes carentes num determinado aminoácido (histidina ou triptofano, respectivamente), que tem como resultado a produção de uma estirpe independente do abastecimento externo desse aminoácido.

Mutagénicos de substituição de um par de bases são os agentes que causam uma alteração das bases do ADN. No ensaio de mutação reversa essa alteração pode ocorrer no local da mutação original ou num local diferente do genoma bacteriano.

Mutagénicos por deslocação do quadro de leitura são agentes que causam a adição ou supressão de um ou mais pares de bases no ADN, modificando dessa forma o quadro de leitura do ARN.

1.3. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O ensaio de mutação reversa bacteriana utiliza células procariotas, que diferem das células de mamífero em características como a absorção, metabolismo, estrutura dos cromossomas e processos de reparação do ADN. Os ensaios conduzidos *in vitro* exigem geralmente a utilização de uma fonte exógena de activação metabólica. Os sistemas de activação metabólica *in vitro* não reproduzem inteiramente as condições *in vivo* nos mamíferos. O ensaio não fornece, por conseguinte, informação directa sobre a potência mutagénica e carcinogénica da substância nos mamíferos.

O ensaio de mutação reversa bacteriana é geralmente utilizado para a despistagem inicial da actividade genotóxica e, nomeadamente, para detectar a indução de mutações pontuais. Uma extensa base de dados demonstrou que muitos produtos químicos que dão resultados positivos no presente ensaio apresentam uma actividade mutagénica noutros ensaios. Há exemplos de agentes mutagénicos que não são detectados pelo presente ensaio, podendo as razões para essas falhas ser atribuídas à natureza específica do ponto final detectado, a diferenças na activação metabólica ou ainda a diferenças na biodisponibilidade. Por outro lado, elementos que aumentem a sensibilidade do ensaio de mutação reversa bacteriana podem conduzir à sobrestimação da actividade mutagénica.

O ensaio de mutação reversa bacteriana pode não ser apropriado para a avaliação de certas classes de produtos químicos, nomeadamente compostos altamente bactericidas (por exemplo, certos antibióticos) e produtos que se pensa (ou que se sabe) que interferem especificamente com o sistema de replicação das células de mamíferos (por exemplo, alguns inibidores da topoisomerase e alguns compostos análogos a nucleosídeos). Nesses casos, poderá ser mais apropriado utilizar ensaios de mutação em células de mamíferos.

Embora muitos dos compostos que dão resultados positivos no presente ensaio sejam carcinogénicos para os mamíferos, essa correlação não é absoluta. Com efeito, a correlação depende da classe química e, por outro lado, alguns agentes carcinogénicos não são detectados no ensaio pelo facto de o seu mecanismo ou mecanismos de actuação, não genotóxicos, não afectarem as células bacterianas.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

As suspensões bacterianas são expostas à substância em estudo tanto na presença como na ausência de um sistema de activação metabólico exógeno. No método de incorporação em placas, as suspensões são misturadas num revestimento de gelose e depois vertidas na superfície duma lâmina de gelose com meio mínimo. No método com incubação prévia, a mistura de tratamento é incubada e só depois misturada com uma cobertura de gelose e preparada em placas com meio mínimo. Independentemente da técnica que tenha sido utilizada, as colónias com mutação reversa são contadas e comparadas com o número de colónias com mutação reversa espontânea em placas de controlo com solvente, após dois ou três dias de incubação.

Estão descritos diversos procedimentos para executar o ensaio de mutação reversa bacteriana. Entre os mais geralmente utilizados estão o método de incorporação em placas (1) (2) (3) (4), o método com incubação prévia (2) (3) (5) (6) (7) (8), o método em flutuação (9) (10) e o método em suspensão (11). As adaptações necessárias para os ensaios de gases ou vapores também se encontram descritas (12).

Os procedimentos descritos no presente método dizem principalmente respeito aos métodos de incorporação em placas e com incubação prévia. Qualquer dos dois é aceitável para a realização de experiências na presença e na ausência de um sistema de activação metabólica. Algumas substâncias poderão ser detectadas de forma mais eficaz utilizando o método com incubação prévia. Essas substâncias pertencem a classes químicas que incluem as nitrosaminas alifáticas de cadeia curta, os metais, os aldeídos, os corantes azóicos e compostos diazóticos, os alcalóides de priolizidina, os compostos alílicos e os compostos nitro (3). Por outro lado, certas classes de mutagénicos nem sempre são detectadas quando se utilizam os procedimentos padrão, tais como o método de incorporação em placas ou o método com incubação prévia. Esses casos são considerados «especiais» e recomenda-se fortemente que sejam utilizados procedimentos alternativos para a sua detecção. Estão já identificados os seguintes casos «especiais» (e exemplos dos procedimentos que podem ser utilizados para a sua detecção): corantes azóicos e compostos diazóticos (3) (5) (6) (13), gases e compostos químicos (12) (14) (15) (16) e glicósidos (17) (18) voláteis. Qualquer desvio do procedimento padrão terá de ser cientificamente justificado.

1.5. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.5.1. Preparação

1.5.1.1. Bactérias

Devem ser utilizadas culturas frescas de bactérias na fase final do crescimento exponencial ou no início da fase estacionária (aproximadamente 10^9 células/ml). Não devem ser utilizadas culturas em fase estacionária adiantada. É essencial que as culturas utilizadas na experiência contenham um título elevado de células viáveis, que pode ser demonstrado por dados históricos de controlo sobre as curvas de crescimento ou durante o próprio ensaio, através da determinação das células viáveis em placas.

A temperatura de incubação recomendada é de 37°C.

Devem ser utilizadas pelo menos cinco estirpes das bactérias, entre as quais quatro estirpes de *S. typhimurium* (TA1535; TA1537 ou TA97 ou TA 97a; TA98 e TA100) para as quais foi demonstrado que são fiáveis e dão resultados reprodutíveis entre laboratórios. Essas quatro estirpes de *S. typhimurium* têm um par com as bases GC no local da inversão primária e sabe-se que não permitem detectar certos agentes mutagénicos oxidantes, de ligação cruzada nem hidrazinas. Essas substâncias podem ser detectadas utilizando as estirpes *E. coli* WP2 ou *S. typhimurium* TA102 (19) que têm um par com as bases AT no local da inversão primária. Por conseguinte, a combinação de estirpes recomendada é:

- *S. typhimurium* TA1535, e
- *S. typhimurium* TA1537 ou TA97 ou TA97a, e
- *S. typhimurium* TA98, e
- *S. typhimurium* TA 100, e
- *E. coli* WP2 uvrA, ou *E. coli* WP2 uvrA (pKM101), ou *S. typhimurium* TA102.

Para a detecção de agentes mutagénicos causadores de ligações cruzadas, poderá ser preferível incluir a estirpe TA102 ou acrescentar uma estirpe capaz de reparar o ADN de *E. coli* [por exemplo, *E. coli* WP2 ou *E. coli* WP2 (pKM101)].

Devem ser utilizados os procedimentos estabelecidos para a preparação de culturas de arranque, verificação dos marcadores e armazenamento. As quantidades de aminoácidos necessários para o crescimento (histidina para as estirpes de *S. typhimurium* e triptofano para as estirpes de *E. coli*) devem ser demonstradas para cada preparação de cultura de arranque conservada. Outras características fenotípicas devem também ser verificadas, a saber: a presença ou ausência de plasmídeos de Factor-r, quando necessário [ou seja, resistência à ampicilina nas estirpes TA98, TA100 e TA97 ou TA97a, WP2 uvrA e WP2 uvrA (pKM101) e resistência à ampicilina e à tetraciclina na estirpe TA102]; presença de mutações características (ou seja, mutação rfa em *S. typhimurium*, através da sensibilização com violeta de cristal, e mutação uvrA em *E. coli* ou mutação uvrB em *S. typhimurium*, através da sensibilização com raios ultravioleta) (2) (3). As estirpes devem ainda apresentar, de forma espontânea, contagens de mutações reversas nas gamas de frequência esperadas em função dos dados históricos de controlo do laboratório e também, de preferência, da literatura.

1.5.1.2. *Meio*

Será utilizado um meio mínimo de gelose apropriado (por exemplo, contendo meio mínimo Vogel-Bonner E e glucose) e uma cobertura de gelose com histidina e biotina ou triptofano para permitir alguma divisão celular (1) (2) (9).

1.5.1.3. *Activação metabólica*

As bactérias devem ser expostas à substância em estudo tanto na presença como na ausência de um sistema adequado de activação metabólica. O sistema mais geralmente utilizado é uma fracção pós-mitocondrial reforçada com co-factor (S9) preparada a partir de fígados de roedores tratados com agentes de indução enzimática, como por exemplo Aroclor 1254 (1) (2) ou uma mistura de fenobarbitona e β -naftoflavona (18) (20) (21). A fracção pós-mitocondrial é geralmente utilizada em concentrações na gama de 5 % a 30 % v/v na mistura S9. A escolha e o estado do sistema de activação metabólico podem depender da classe dos produtos químicos em estudo. Em alguns casos pode revelar-se adequado utilizar várias concentrações diferentes de fracção pós-mitocondrial. Para os corantes azóicos para os compostos diazóicos, poderá ser mais indicado um sistema activação metabólica redutor (6) (13).

1.5.1.4. *Substância em estudo/preparação*

As substâncias sólidas devem ser dissolvidas ou suspensas em solventes ou veículos adequados e, se necessário, diluídas antes da exposição das bactérias. As substâncias líquidas podem ser adicionadas directamente aos sistemas em estudo e/ou diluídas antes de serem adicionadas às células. Devem ser utilizadas preparações frescas da substância em estudo, a menos que os dados de estabilidade demonstrem que o respectivo armazenamento não coloca problemas para o ensaio.

O solvente/veículo não deve reagir com a substância em estudo, devendo ser compatível com a sobrevivência das células e com a actividade da mistura S9. Caso se utilizem solventes/veículos cujas propriedades não se encontrem totalmente elucidadas, devem fornecer-se dados que justifiquem a sua compatibilidade. Sempre que possível, recomenda-se a utilização de solventes/veículos aquosos. Quando forem realizados ensaios de substâncias instáveis na presença de água, os solventes orgânicos utilizados devem ser anidros.

1.5.2. **Condições do ensaio**

1.5.2.1. *Estirpes (ver 1.5.1.1)*

1.5.2.2. *Concentração de exposição*

A citotoxicidade e a solubilidade na mistura final constituem alguns dos critérios a ter em conta na determinação da maior quantidade da substância em estudo a utilizar.

Poderá ser útil determinar a toxicidade e insolubilidade através de uma experiência preliminar. A citotoxicidade pode ser detectada pela redução do número de colónias com mutação reversa, pela presença de colónias mais claras ou de menores dimensões ou pelo grau de sobrevivência das culturas expostas. A citotoxicidade de uma substância pode variar na presença de sistemas de activação metabólicos. A insolubilidade deve ser avaliada em função da precipitação verificável a olho nu na mistura final nas condições reais do ensaio.

A concentração máxima de ensaio recomendada para substâncias solúveis não citotóxicas é de 5 mg/placa ou de 5 μ l/placa. Para as substâncias não citotóxicas insolúveis a 5 mg/placa ou a 5 μ l/placa, uma ou mais das concentrações ensaiadas devem ser insolúveis na mistura final. As substâncias de ensaio citotóxicas abaixo dos 5 mg/placa ou 5 μ l/placa devem ser ensaiadas até uma concentração citotóxica. O precipitado não deve interferir com a contagem.

Numa experiência inicial devem ser utilizadas pelo menos cinco concentrações analisáveis diferentes da substância em estudo, com intervalos aproximadamente semilogarítmicos (ou seja, $\sqrt{10}$) entre as concentrações. Para a investigação da relação concentração-resposta poderão ser indicados intervalos menores. Poderá ser contemplada a possibilidade de ensaiar concentrações superiores a 5 mg/placa ou 5 µl/placa quando se pretender avaliar substâncias que contenham quantidades substanciais de impurezas potencialmente mutagénicas.

1.5.2.3. Controlos negativos e positivos

Cada experiência deve incluir em paralelo controlos positivos e negativos (solvente ou veículo) específicos para cada estirpe, devendo, para os controlos positivos, ser escolhidas concentrações que demonstrem o desempenho eficaz de cada ensaio.

Para os ensaios com utilização de um sistema de activação metabólica, a substância de referência para os controlos positivos deve ser seleccionada com base no tipo de estirpe de bactéria utilizada.

As seguintes substâncias são exemplos de controlos positivos apropriados para os ensaios com activação metabólica:

Substância	Número CAS	Número EINECS
9,10-dimetilantraceno	781-43-1	212-308-4
7,12-dimetilbenzo[a]antraceno	57-97-6	200-359-5
benzo[a]pireno	50-32-8	200-028-5
2-aminoantraceno	613-13-8	210-330-9
ciclofosfamida	50-18-0	200-015-4
ciclofosfamida monohidrato	6055-19-2	

A seguinte substância é um controlo positivo apropriado para o método de activação metabólico redutor:

Substância	Número CAS	Número EINECS
vermelho do Congo	573-58-0	209-358-4

O 2-aminoantraceno não deve ser utilizado como único indicador da eficácia da mistura S9. Se essa substância for utilizada, cada lote S9 deve ser igualmente caracterizado com um agente mutagénico que exija activação metabólica por enzimas microssómicos, como por exemplo o benzo[a]pireno ou o dimetilbenzo[a]antraceno.

As seguintes substâncias são exemplos de controlos positivos específicos apropriados para cada estirpe, adequados para os ensaios sem utilização de um sistema exógeno de activação metabólica:

Substância	Número CAS	Número EINECS	Estirpe
nitrito de sódio	26628-22-8	247-852-1	TA 1535 e TA 100
2-nitrofluoreno	607-57-8	210-138-5	TA 98
9-aminoacridina	90-45-9	201-995-6	TA 1537, TA 97 e TA 97A
ICR 191	17070-45-0	241-129-4	TA 1537, TA 97 e TA 97A
hidroperóxido de isopropilbenzeno	80-15-9	201-254-7	TA 102
mitomicina C	50-07-7	200-008-6	WP2 uvrA e TA 102

Substância	Número CAS	Número EINECS	Estirpe
N-etil-N-nitro-N-nitro-soguanidina	70-25-7	200-730-1	WP2, WP2 uvrA e WP2 uvrA (pKM101)
4-nitroquinolina-1-óxido	56-57-5	200-281-1	WP2, WP2 uvrA e WP2 uvrA (pKM101)
furilfuramida (AF2)	3688-53-7		estirpes com plasmídeos

Podem utilizar-se no controlo positivo outras substâncias adequadas. A possibilidade de utilização de produtos químicos de uma classe afim para o controlo positivo deve ser considerada, quando existam.

Devem também realizar-se controlos negativos, consistindo apenas em solvente ou veículo e sem a substância em estudo, que serão sujeitos exactamente ao mesmo procedimento que os grupos expostos. Além disso, devem igualmente ser utilizados controlos não expostos à substância em estudo, a menos que existam dados históricos de controlo que demonstrem que o solvente escolhido não induz qualquer efeito deletério ou mutagénico.

1.5.3. Procedimento

Para o método de incorporação em placas (1) (2) (3) (4) sem activação metabólica, utilizam-se geralmente 0,05 ml ou 0,1 ml da solução de ensaio, 0,1 ml de cultura bacteriana fresca (aproximadamente 10^8 células viáveis) e 0,5 ml de tampão estéril, que são misturados com 2,0 ml de gelose de cobertura. Para o ensaio com activação metabólica, utilizam-se geralmente 0,5 ml de mistura de activação metabólica, que contém uma quantidade adequada de fracção pós-mitochondrial (entre 5 % a 30 % v/v na mistura de activação metabólica), misturada com a gelose de cobertura (2,0 ml), as bactérias e a substância em estudo/solução de ensaio. O conteúdo de cada tubo é misturado e deitado sobre uma placa de meio mínimo de gelose. A gelose de cobertura deve solidificar antes da incubação.

No método com incubação prévia (2) (3) (5) (6), a substância em estudo/solução de ensaio é previamente incubada com a estirpe de ensaio (aproximadamente 10^8 células viáveis) e o tampão estéril ou o sistema de activação metabólica (0,5 ml), geralmente durante 20 minutos ou mais a 30-37 °C, antes de ser misturada com a gelose de cobertura e deitada sobre uma placa com meio mínimo de gelose. Normalmente, são utilizados 0,05 ou 0,1 ml da substância em estudo/solução de ensaio, 0,1 ml de cultura bacteriana e 0,5 ml da mistura S9 ou de tampão estéril, misturados com 2,0 ml de gelose de cobertura. Os tubos devem ser arejados durante a pré-incubação, utilizando o agitador.

Para uma avaliação adequada da variação, devem ser utilizadas placas em triplicado para cada dose. A utilização de placas em duplicado é aceitável, desde que seja justificada cientificamente. A perda ocasional de uma placa não invalida necessariamente o ensaio.

As substâncias gasosas ou voláteis devem ser ensaiadas por métodos apropriados, por exemplo em recipientes selados (12) (14) (15) (16).

1.5.4. Incubação

Todas as placas de cada ensaio devem ser incubadas a 37°C durante 48-72 horas. Após a incubação, contam-se as colónias com mutação reversa em cada placa.

2. DADOS

2.1. TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Os dados devem ser apresentados sob a forma do número de colónias com mutação reversa por placa. O número de colónias com mutação reversa nas placas de controlo negativas (controlo do solvente e, se tiver sido utilizado, controlo não exposto) e positivas deve também ser apresentado. As contagens individuais das placas, o número médio de colónias com mutação reversa por placa e o respectivo desvio-padrão devem ser apresentados para a substância em estudo e para os controlos positivos e negativos (não expostos à substância em estudo e/ou solvente).

Não há nenhuma exigência concreta para a verificação de uma resposta positiva clara. Os resultados ambíguos devem ser melhor esclarecidos, de preferência com modificação das condições experimentais. Os resultados negativos têm de ser confirmados caso a caso. Nos casos em que a confirmação dos resultados negativos não seja considerada necessária, deve ser apresentada uma justificação. Para a realização de experiências adicionais,

deve ser analisada a possibilidade de modificação dos parâmetros do estudo, por forma a aumentar a gama de condições avaliadas. Os parâmetros que podem eventualmente ser alterados incluem a gama de concentrações, o método de tratamento (incorporação em placas ou pré-incubação em meio líquido) e as condições de activação metabólica.

2.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Há diversos critérios para determinar um resultado positivo, tais como um aumento do número de colónias por placa com mutação reversa em pelo menos uma estirpe, com ou sem sistema de activação metabólico, que esteja relacionado com a concentração na gama ensaiada e/ou que seja reprodutível numa ou mais das concentrações ensaiadas (23). Deve ser tomada em consideração, antes de mais, a importância biológica dos resultados. Como auxílio para a avaliação dos resultados dos ensaios, poderão ser utilizados métodos estatísticos (24). Contudo, a significância estatística não deve ser o único elemento de determinação para uma resposta positiva.

Uma substância cujos resultados não cumpram os critérios acima indicados no presente ensaio é considerada não mutagénica.

Embora a maioria de experiências tenha resultados claramente positivos ou negativos, em casos raros o conjunto dos dados não permitirá que se obtenha uma opinião inequívoca sobre a actividade da substância em estudo, podendo acontecer que os resultados continuem a ser ambíguos ou duvidosos independentemente do número de vezes que a experiência seja repetida.

Um resultado positivo no ensaio de mutação reversa bacteriana indica que a substância induz mutações pontuais por substituição das bases ou por deslocação do quadro de leitura no genoma de *Salmondas typhimurium* e/ou *Escherichia coli*. Um resultado negativo indica que, nas condições do ensaio, a substância não é mutagénica para as espécies ensaiadas.

3. APRESENTAÇÃO DE RELATÓRIOS

RELATÓRIO DE ENSAIO

O relatório de ensaio deve incluir a seguinte informação:

Solvente/veículo:

- justificação para a escolha do solvente/veículo,
- solubilidade e estabilidade da substância em estudo no solvente/veículo, se conhecida.

Estirpes:

- estirpes usadas,
- número de células por cultura,
- características da estirpe.

Condições de ensaio:

- quantidade da substância em estudo por placa (mg/placa ou µl/placa), com justificação da escolha da dose e do número de placas preparadas por concentração,
- meios utilizados,
- tipo e composição do sistema de activação metabólica, incluindo critérios de aceitabilidade,
- protocolo do tratamento.

Resultados:

- sinais de toxicidade,
- sinais de precipitação,
- contagens individuais das placas,
- número médio de colónias com mutação reversa por placa e respectivo desvio-padrão,
- relação dose-resposta, quando seja possível de determinar,
- análise estatística, quando tenha sido realizada,
- dados relativos aos controlos negativo (solvente/veículo) e positivo realizados em paralelo com o ensaio, com as respectivas gamas, valores médios e desvios-padrão,
- dados históricos relativos aos controlos negativo (solvente/veículo) e positivo realizados em paralelo com o ensaio, com as respectivas gamas, valores médios e desvios-padrão.

Discussão dos resultados.

Conclusões.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Ames, B.N., McCann, J. and Yamasaki E., (1975) Methods for Detecting Carcinogens and Mutagens with the Salmonella/Mammalian-Microsome Mutagenicity Test. *Mutation Res.*, 31, p. 347-364.
- (2) Maron, D.M. and Ames, B.N., (1983) Revised Methods for the Salmonella Mutagenicity Test. *Mutation Res.*, 113, p. 173-215.
- (3) Gatehouse, D., Haworth, S., Cebula, T., Gocke, E., Kier, L., Matsushima, T., Melcion, C., Nohmi, T., Venitt, S. and Zeiger, E., (1994) Recommendations for the Performance of Bacterial Mutation Assays. *Mutation Res.*, 312, p. 217-233.
- (4) Kier, L.D., Brusick D.J., Auletta, A.E., Von Halle, E.S., Brown, M.M., Simmon, V.F., Dunkel, V., McCann, J., Mortelmans, K., Prival, M., Rao, T.K. and Ray V., (1986) The *Salmonella typhimurium*/Mammalian Microsomal Assay: A Report of the U.S. Environmental Protection Agency Gene-Tox Program. *Mutation Res.*, 168, p. 69-240.
- (5) Yahagi, T., Degawa, M., Seino, Y.Y., Matsushima, T., Nagao, M., Sugimura, T. and Hashimoto, Y., (1975) Mutagenicity of Carcinogen Azo Dyes and their Derivatives, *Cancer Letters*, 1, p. 91-96.
- (6) Matsushima, M., Sugimura, T., Nagao, M., Yahagi, T., Shirai, A. and Sawamura, M., (1980) Factors Modulating Mutagenicity Microbial Tests. In: *Short-term Test Systems for Detecting Carcinogens*. Ed. Norporth K.H. and Garner, R.C., Springer, Berlin-Heidelberg-New York. p. 273-285.
- (7) Gatehouse, D.G., Rowland, I.R., Wilcox, P., Callender, R.D. and Foster, R., (1980) Bacterial Mutation Assays. In: *Basic Mutagenicity Tests: UKEMS Part 1 Revised*. Ed. D.J. Kirkland, Cambridge University Press, p. 13-61.
- (8) Aeschacher, H.U., Wolleb, U. and Porchet, L., (1987) Liquid Preincubation Mutagenicity Test for Foods. *J. Food Safety*, 8, p. 167-177.
- (9) Green, M.H.L., Muriel, W.J. and Bridges, B.A., (1976) Use of a simplified fluctuation test to detect low levels of mutagens. *Mutation Res.*, 38, p. 33-42.

- (10) Hubbard, S.A., Green, M.H.L., Gatehouse, D. and J.W. Bridges (1984) The Fluctuation Test in Bacteria. In: Handbook of Mutagenicity Test Procedures. 2nd Edition. Ed. Kilbey, B.J., Legator, M., Nichols, W. and Ramel, C., Elsevier, Amsterdam-New York-Oxford, p. 141-161.
- (11) Thompson, E.D. and Melampy, P.J., (1981) An Examination of the Quantitative Suspension Assay for Mutagenesis with Strains of *Salmonella typhimurium*. Environmental Mutagenesis, 3, p. 453-465.
- (12) Araki, A., Noguchi, T., Kato, F. and T. Matsushima (1994) Improved Method for Mutagenicity Testing of Gaseous Compounds by Using a Gas Sampling Bag. Mutation Res., 307, p. 335-344.
- (13) Prival, M.J., Bell, S.J., Mitchell, V.D., Reipert, M.D. and Vaughn, V.L., (1984) Mutagenicity of Benzidine and Benzidine-Congener Dyes and Selected Monoazo Dyes in a Modified Salmonella Assay. Mutation Res., 136, p. 33-47.
- (14) Zeiger, E., Anderson, B.E., Haworth, S., Lawlor, T. and Mortelmans, K., (1992) Salmonella Mutagenicity Tests. V. Results from the Testing of 311 Chemicals. Environ. Mol. Mutagen., 19, p. 2-141.
- (15) Simmon, V., Kauhanen, K. and Tardiff, R.G., (1977) Mutagenic Activity of Chemicals Identified in Drinking Water. In Progress in Genetic Toxicology, D. Scott, B. Bridges and F. Sobels (Eds.) Elsevier, Amsterdam, p. 249-258.
- (16) Hughes, T.J., Simmons, D.M., Monteith, I.G. and Claxton, L.D., (1987) Vaporisation Technique to Measure Mutagenic Activity of Volatile Organic Chemicals in the Ames/Salmonella Assay. Environmental Mutagenesis, 9, p. 421-441.
- (17) Matsushima, T., Matsumoto, A., Shirai, M., Sawamura, M., and Sugimura, T., (1979) Mutagenicity of the Naturally Occurring Carcinogen Cycasin and Synthetic Methylazoxy Methane Conjugates in *Salmonella typhimurium*. Cancer Res., 39, p. 3780-3782.
- (18) Tamura, G., Gold, C., Ferro-Luzzi, A. and Ames, B.N., (1980) Fecalase: A Model for Activation of Dietary Glycosides to Mutagens by Intestinal Flora. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 77, p. 4961-4965.
- (19) Wilcox, P., Naidoo, A., Wedd, D.J. and Gatehouse, D.G., (1990) Comparison of *Salmonella typhimurium* TA 102 with *Escherichia coli* WP2 Tester strains. Mutagenesis, 5, p. 285-291.
- (20) Matsushima, T., Sawamura, M., Hara, K. and Sugimura, T., (1976) A Safe Substitute for Polychlorinated Biphenyls as an Inducer or Metabolic Activation Systems. In: «In vitro metabolic Activation in Mutagenesis Testing» Eds. F.J. de Serres et al. Elsevier, North Holland, p. 85-88.
- (21) Elliot, B.M., Combes, R.D., Elcombe, C.R., Gatehouse, D.G., Gibson, G.G., Mackay, J.M. and Wolf, R.C., (1992) Alternatives to Aroclor 1254-induced S9 in *in vitro* Genotoxicity Assays. Mutagenesis, 7, p. 175-177.
- (22) Maron, D., Katzenellenbogen, J. and Ames, B.N., (1981) Compatibility of Organic Solvents with the Salmonella/Microsome Test. Mutation Res., 88, p. 343-350.
- (23) Claxton, L.D., Allen, J., Auletta, A., Mortelmans, K., Nestmann, E. and Zeiger, E., (1987) Guide for the *Salmonella typhimurium*/Mammalian Microsome Tests for Bacterial Mutagenicity. Mutation Res. 189, p. 83-91.
- (24) Mahon, G.A.T., Green, M.H.L., Middleton, B., Mitchell, I., Robinson, W.D. and Tweats, D.J., (1989) Analysis of Data from Microbial Colony Assays. In: UKEMS Sub-Committee on Guidelines for Mutagenicity Testing. Part II. Statistical Evaluation of Mutagenicity Test Data. Ed. Kirkland, D.J., Cambridge University Press, p. 28-65.

B.15. TESTES DE MUTAGÉNESE E DESPISTE DE CARCINOGÉNESE MUTAÇÃO GÉNICA —
SACCHAROMYCES CEREVISIAE

1. MÉTODO

1.1. INTRODUÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

1.2. DEFINIÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Nenhuma.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Podem utilizar-se várias estirpes haplóides e diplóides do fungo *Saccharomyces Cerevisiae* para medir a produção de mutações génicas induzidas por agentes químicos em presença e na ausência de activação metabólica.

A medição de «mutações *forward*» (*forward mutations*) pode ser realizada nomeadamente pela medição da passagem dos mutantes vermelhos que exigem adenina (*ade-1*, *ade-2*) para uma forma branca duplamente exigente em adenina, assim como por sistemas selectivos como a indução de resistência à canavanina e à cicloheximida.

O método de mutação reversível mais frequentemente utilizado implica a utilização da estirpe haplóide XV 185-14C que inclui as mutações *nonsense* ocre *ade 2-1*, *arg 4-17*, *lys 1-1* e *trp 5-48*, que são reversíveis por mutagénios que provoquem substituições de bases induzindo mutações num *locus* específico ou mutações supressivas ocre. A estirpe XV 185-14C inclui igualmente o marcador *his 1-7*, uma mutação *nonsense*, principalmente reversível pelas mutações de segundo *locus* e ainda o marcador *hom 3-10* que é reversível por mutagénios conduzindo à ultrapassagem do quadro de leitura do código genético (*Frameshift Mutation*).

Das estirpes diplóides de *S. Cerevisiae*, a única cujo uso está generalizado é a estirpe D₇ que é homozigótica para *ilv 1-92*.

1.5. CRITÉRIOS QUALITATIVOS

Nenhum.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

Preparativos

As soluções das substâncias a testar bem como as das substâncias de controlo serão preparadas imediatamente antes do ensaio, com a ajuda de um veículo apropriado. Quando se tratar de substâncias orgânicas não solúveis na água, deverão ser utilizados os solventes orgânicos como o etanol, a acetona ou o dimetilsulfóxido (DMSO) numa concentração não ultrapassando 2 % v/v. A concentração final do veículo não deve afectar de forma significativa a viabilidade das células nem as características de crescimento.

Activação metabólica

As células deverão ser expostas às substâncias a testar na presença e na ausência de um sistema exógeno de activação metabólica apropriado.

O método mais frequentemente utilizado consiste na adição da fracção pós-mitocondrial preparada a partir de fígados de roedores tratados previamente por indutores enzimáticos e adicionada de co-factores. Podem utilizar-se também outras espécies, tecidos, fracções pós-mitocondriais ou métodos para a activação metabólica.

Condições do ensaio

Estirpes de experiência

A estirpe haplóide XV 185-14C e a estirpe diplóide D₇ são as mais frequentemente utilizadas em estudos de mutação génica. Podem também ser apropriadas outras estirpes.

Meios

Utilizam-se meios de cultura apropriados para determinar a sobrevivência celular e o número de mutantes.

Uso de controlos negativos e positivos

Deverão ser realizados simultaneamente controlos positivos, controlos não tratados e controlos com solvente. Serão utilizadas substâncias químicas apropriadas como controlos positivos para cada fenómeno mutacional específico.

Concentrações de exposição

Deverão ser utilizados pelo menos cinco concentrações convenientemente espaçadas da substância a testar. No caso de substâncias tóxicas a concentração máxima testada não deverá diminuir a taxa de sobrevivência abaixo de 5 % a 10 %. As substâncias relativamente insolúveis na água serão testadas até ao seu limite de solubilidade com métodos apropriados. No caso das substâncias não tóxicas francamente solúveis na água a concentração máxima será determinada caso a caso.

Condições de incubação

Devem incubar-se as placas no escuro à temperatura de 28-30 °C durante quatro a sete dias.

Frequências de mutações espontâneas

Serão utilizadas as subculturas cujas frequências de mutação espontânea estejam situadas dentro dos limites normais admitidos.

Número de placas

Deverão utilizar-se pelo menos três placas por concentração para determinar os prototróficos produzidos por mutação génica e observar a viabilidade das células. No caso de experiências usando marcadores com uma pequena taxa de mutação como o *hom* 3-10, pode aumentar-se o número de placas utilizado para fornecer dados estatisticamente significativos.

Procedimento

As estirpes de *S. Cerevisiae* são tratadas habitualmente no curso dum ensaio em meio líquido, implicando a utilização de células em fase estacionária ou de crescimento. As experiências iniciais deveriam ser efectuadas com células em crescimento. Expõem-se à substância a testar $1-5 \times 10$ células/ml durante um período até 18 horas, à temperatura de 28-37 °C, agitando-se a mistura; deve adicionar-se uma quantidade adequada dum sistema de activação metabólica durante o tratamento. No fim do tratamento as células serão centrifugadas, lavadas, e semeadas num meio de cultura apropriado. Depois da incubação as placas serão examinadas para se determinar a taxa de sobrevivência e a indução de mutações génicas. Se a primeira experiência der resultados negativos deve realizar-se segunda, utilizando-se células em fase estacionária. Se a primeira experiência der resultados positivos, estes serão confirmados por uma experiência independente apropriada.

2. RESULTADOS

Os resultados devem ser apresentados em quadros, indicando o número de colónias contadas, o número de mutantes, a taxa de sobrevivência e a frequência de mutantes. Todos os resultados deverão ser confirmados por uma experiência independente. Os resultados deverão ser avaliados com métodos estatísticos adequados.

3. **RELATÓRIO**

3.1. RELATÓRIO DO TESTE

O relatório do teste deverá incluir as seguintes informações:

- estirpe utilizada,
- condições do teste: células em fase estacionária ou de crescimento, composição dos meios, temperatura e duração da incubação, sistema de activação metabólica,
- condições do tratamento: níveis de exposição, procedimento e duração do tratamento, temperatura do tratamento, controlos positivos e negativos,
- número de colónias contadas, número de mutantes, taxa de sobrevivência e frequência de mutantes, relação dose/resposta se possível, avaliação estatística dos resultados.

3.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

4. **REFERÊNCIAS**

Ver Introdução Geral, parte B.

B.16. RECOMBINAÇÃO MITÓTICA — *SACCHAROMYCES CEREVISIAE*

1. MÉTODO

1.1. INTRODUÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

1.2. DEFINIÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Nenhuma.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

A recombinação mitótica no *Saccharomyces Cerevisiae* pode ser detectada ao nível intergénico (ou mais generalizadamente entre um gene e o seu centrómero) e ao nível intragénico. O primeiro caso denomina-se *crossing-over* mitótico e dá origem a trocas recíprocas, enquanto no segundo caso as trocas são não recíprocas a maior parte das vezes, sendo este denominado conversão génica. O *crossing-over* é geralmente detectado pela produção de colónias ou de sectores recessivos homozigóticos a partir de uma estirpe heterozigótica, enquanto a conversão génica é detectada pela produção de prototróficos revertidos de uma estirpe auxotrófica heteroalélica contendo dois alelos defeituosos diferentes do mesmo gene. As estirpes mais correntemente utilizadas para detectar uma conversão génica mitótica são as D₄ (heteroalélica para *ade 2* e *trp 5*), D₇ (heteroalélica para *trp 5*), BZ₃₄ (heteroalélica para *arg 4*) e JD1 (heteroalélica para *his 4* e *trp 5*). O *crossing-over* mitótico produzindo sectores homozigóticos de cor vermelha e rosa pode ser determinado com D₅ ou D₇ (que mede também a conversão génica mitótica e a mutação reversível para *ilv 1-92*), sendo estas duas estirpes heteroalélicas complementares para os alelos *ade 2*.

1.5. CRITÉRIOS QUALITATIVOS

Nenhum.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DO ENSAIO

Preparativos

As soluções das substâncias a testar assim como das substâncias de controlo ou de referência deverão ser preparadas imediatamente antes do ensaio, com a ajuda do veículo apropriado. No caso de substâncias orgânicas insolúveis na água deverão utilizar-se solventes orgânicos como o etanol, a acetona e o dimetilsulfóxido (DMSO), em concentrações não ultrapassando 2 % v/v. A concentração final do veículo não deverá afectar de maneira significativa a viabilidade das células nem as características de crescimento.

Activação metabólica

As células serão expostas às substâncias a testar na presença e na ausência de um sistema exógeno de activação metabólica. O método mais frequentemente utilizado consiste na adição da fracção pós-mitocondrial preparada a partir de fígados de roedores tratados previamente com indutores enzimáticos e adicionada de co-factores. Podem também utilizar-se outras espécies, tecidos, fracções pós-mitocondriais ou métodos para activação metabólica.

*Condições do ensaio**Estirpes de experiência*

As estirpes mais frequentemente utilizadas são as diplóides D₄, D₅, D₇ e JD1. Podem também ser apropriadas outras estirpes.

Meios

Utilizam-se os meios de cultura apropriados para determinar a taxa de sobrevivência e a frequência de recombinações mitóticas.

Uso de controlos negativos e positivos

Deverão ser realizados simultaneamente controlos positivos, controlos não tratados e controlos com solvente. Serão utilizadas substâncias químicas apropriadas como controlos positivos para cada tipo específico de recombinação.

Concentrações de exposição

Deverão ser utilizadas pelo menos cinco concentrações convenientemente espaçadas da substância a testar. A citotoxicidade e a solubilidade são alguns dos factores a ter em consideração. A concentração mais fraca não deve ter qualquer efeito na viabilidade das células. No caso de produtos químicos tóxicos, a concentração máxima testada não deve diminuir a taxa de sobrevivência abaixo de 5 % a 10 %. Os produtos químicos relativamente insolúveis na água serão testados até ao seu limite de solubilidade por métodos apropriados. No caso de produtos químicos não tóxicos, francamente solúveis na água, a concentração máxima testada será determinada caso a caso.

As células podem ser expostas às substâncias a testar em fase estacionária ou em fase de crescimento durante períodos de duração até 18 horas. No entanto, no caso de um tratamento de longa duração, as culturas serão examinadas ao microscópio para se detectar a formação de esporos, cuja presença tornará o teste nulo.

Condições de incubação

As placas serão incubadas no escuro a uma temperatura de 28-30 °C, durante quatro a sete dias. As placas utilizadas para a determinação dos sectores homozigóticos vermelho e rosa produzidos por *crossing-over* mitótico serão conservadas num refrigerador a ± 4 °C durante mais um a dois dias antes da contagem, de modo a que a pigmentação das colónias interessadas possa intensificar-se.

Frequência de recombinações mitóticas espontâneas

Deverão utilizar-se subculturas cujas frequências de recombinação mitótica se situem dentro da gama admitida normalmente.

Número de placas

Deverão ser semeadas pelo menos três placas por concentração a fim de determinar a viabilidade bem como o número de prototróficos produzidos por conversão génica mitótica. No caso de determinação da homozigotia recessiva produzida por *crossing-over* mitótico, o número de placas será aumentado para se obter um número de colónias adequado.

Procedimento

As estirpes de *S. Cerevisiae* são tratadas habitualmente no curso de um ensaio em meio líquido, implicando a utilização de células em fase estacionária ou de crescimento. As experiências iniciais deveriam ser efectuadas com células em crescimento. São expostas $1-5 \times 10^7$ células/ml à substância a testar durante um período até 18 horas, à temperatura de 28-37 °C, agitando-se a mistura; deve adicionar-se uma quantidade adequada de um sistema de activação metabólica durante o tratamento.

No fim do tratamento as células serão centrifugadas, lavadas e semeadas no meio de cultura adequado. Depois da incubação, as placas serão examinadas a fim de determinar a taxa de sobrevivência e a indução de recombinação mitótica.

Se a primeira experiência der resultados negativos deve realizar-se segunda, utilizando-se células em fase estacionária. Se a primeira experiência der resultados positivos, estes serão confirmados por uma experiência independente apropriada.

2. RESULTADOS

Os resultados devem ser apresentados em quadros, indicando o número de colónias contadas, o número de recombinantes, a taxa de sobrevivência e a frequência de recombinantes.

Todos os resultados deverão ser confirmados por uma experiência independente.

Os resultados deverão ser avaliados com métodos estatísticos adequados.

3. **RELATÓRIO**

3.1. RELATÓRIO DO TESTE

O relatório do teste deverá incluir as informações seguintes:

- estirpe utilizada,
- condições do teste: células em fase estacionária ou em fase de crescimento, composição dos meios, temperatura e duração da incubação, sistema de activação metabólica,
- condições de tratamento: concentração de exposição, procedimento e duração do tratamento, temperatura do tratamento, controlos positivos e negativos,
- número de colónias contadas, número de recombinantes, taxa de sobrevivência e frequência de recombinação, relação dose/resposta se possível; avaliação estatística dos resultados,
- discussão dos resultados,
- interpretação dos resultados.

3.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

4. **REFERÊNCIAS**

Ver Introdução Geral, parte B.

B.17. MUTAGENICIDADE — ENSAIO DE MUTAÇÃO GÉNICA EM CÉLULAS DE MAMÍFEROS *IN VITRO***1. MÉTODO**

O presente método é idêntico ao método OCDE TG 476 — Ensaio de mutação génica de mamíferos *in vitro* (1997).

1.1. INTRODUÇÃO

O ensaio de mutação génica em células de mamíferos *in vitro* pode ser utilizado para detectar mutações génicas induzidas por substâncias químicas. As linhas celulares que podem ser utilizadas incluem as células L5178Y do linfoma do rato, as linhas celulares CHO, CHO-AS52 e V79 do hamster chinês e as células linfoblastóides humanas TK6 (1). Nessas linhas celulares, os pontos finais genéticos mais utilizados são as mutações da timidina quinase (TK), da hipoxantina-guanina fosforibosil transferase (HPRT) e do transgene de xan-tina-guanina fosforibosil transferase (XPRT). Os ensaios de mutação TK, HPRT e XPRT detectam diferentes gamas de ocorrências genéticas. A localização autossómica das mutações TK e XPRT pode permitir a detecção de ocorrências genéticas (por exemplo, supressão de grandes sequências) que não são detectadas no locus HPRT nos cromossomas X (2) (3) (4) (6).

No ensaio de mutação génica em células de mamíferos *in vitro* podem ser utilizadas culturas de qualquer linha celular ou estirpe de características bem conhecidas. As células utilizadas são seleccionadas com base na sua capacidade de desenvolvimento em cultura e na estabilidade da frequência das mutações espontâneas.

Os ensaios realizados *in vitro* exigem geralmente a utilização de uma fonte exógena de activação metabólica. Os sistemas de activação metabólicos *in vitro* não reproduzem inteiramente as condições *in vivo* nos mamíferos. Devem portanto ser evitadas condições que conduzam a resultados que não reflectem uma mutagenicidade intrínseca. Os eventuais resultados positivos não resultantes de mutagenicidade intrínseca podem ser causados por alterações do pH, da pressão osmótica ou por níveis elevados de citotoxicidade (7).

O presente ensaio é utilizado para o controlo de eventuais agentes mutagénicos e carcinogénicos em mamíferos. Embora muitos dos compostos que dão resultados positivos no presente ensaio sejam carcinogénicos para os mamíferos, essa correlação não é absoluta. Com efeito, a correlação depende da classe química e, por outro lado, há cada vez mais dados que provam que alguns agentes carcinogénicos não são detectados no ensaio porque parecem actuar através de mecanismos não genotóxicos ou através de mecanismos ausentes nas células bacterianas (6).

Ver também a parte B da Introdução Geral.

1.2. DEFINIÇÕES

Mutação para diante: mutação genética do tipo parental para a forma mutante que causa uma alteração ou perda de actividade enzimática da função da proteína codificada.

Mutagénicos por substituição de um par de bases: substâncias que causam a substituição de um ou vários pares de bases do ADN.

Mutagénicos por deslocação do quadro de leitura: substâncias que causam a adição ou supressão de um par de bases ou de uma sequência de pares de bases do ADN.

Período de expressão fenotípica: período que decorre até que os produtos dos genes inalterados se esgotem nas células recentemente sujeitas a uma mutação.

Frequência de mutação: relação entre o número de células mutantes observadas e o número de células viáveis.

Crescimento total relativo: aumento no número de células por unidade de tempo, por comparação com uma população de controlo: calculado como o produto da relação entre o crescimento em suspensão e no controlo negativo com a relação entre a eficiência de clonagem em suspensão e no controlo negativo.

Crescimento relativo em suspensão: relação entre o aumento no número de células durante o período de expressão em suspensão e no controlo negativo.

Viabilidade: eficiência de clonagem das células expostas incubadas em placas, após o período de expressão, sob condições selectivas.

Sobrevivência: eficiência de clonagem das células expostas incubadas em placas no fim do período de exposição; a sobrevivência é geralmente expressa em relação à sobrevivência da população celular de controlo.

1.3. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

As células deficientes em timidina quinase (TK) devido à mutação $TK^{\pm} \rightarrow TK^{\pm}$ são resistentes aos efeitos citotóxicos do análogo de pirimidina da trifluorotimidina (TFT). As células que dispõem de timidina quinase são sensíveis ao TFT, que causa inibição do metabolismo celular e impede a divisão da célula. Logo, as células mutantes podem proliferar na presença de TFT, o que não acontece com as células normais, com timidina quinase. Da mesma forma, as células carentes em HPRT ou XPRT são seleccionadas pela resistência à 6-tioguanina (TG) ou à 8-azaguanina (AG). As propriedades da substância em estudo devem ser cuidadosamente tomadas em consideração se o ensaio de mutação génica em células de mamíferos for utilizado para ensaiar uma substância análoga das bases ou um composto relacionado com o agente selectivo. Assim, por exemplo, deve ser investigada qualquer suspeita de toxicidade selectiva da substância em estudo para as células mutantes e não mutantes. Logo, o desempenho do sistema/agente selectivo deve ser confirmado quando se ensaiarem produtos químicos estruturalmente relacionados com o agente selectivo (8).

As células em suspensão ou em cultura em monocamada são expostas à substância em estudo tanto na presença como na ausência de um sistema de activação metabólica durante um período de tempo apropriado, sendo depois cultivadas para determinar a citotoxicidade e para permitir a expressão fenotípica antes de seleccionar o mutante (9) (10) (11) (12) (13). A citotoxicidade é geralmente determinada através da medição da eficiência relativa de clonagem (sobrevivência) ou do crescimento total relativo das culturas após o período de exposição. As culturas expostas são mantidas em meio de crescimento durante um período de tempo suficiente, que varia em função do *locus* seleccionado e do tipo de célula, por forma a permitir uma expressão fenotípica tão boa quanto possível das mutações induzidas. A frequência de mutação é determinada inoculando um número conhecido de células num meio com agente selectivo para as células mutantes e num meio sem agente selectivo, para determinação das respectivas eficiências de clonagem (viabilidade). Após um período de incubação apropriado, as colónias são contadas. A frequência de mutação é calculada a partir do número de colónias mutantes no meio selectivo e do número de colónias no meio não selectivo.

1.4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.4.1. Preparação

1.4.1.1. Células

O presente ensaio pode ser realizado com diversos tipos de células, nomeadamente subclones das células L5178Y, CHO, CHO-AS52, V79 ou TK6. Os tipos de célula utilizados no presente ensaio devem ter uma sensibilidade demonstrada a mutagénicos químicos, uma eficiência de clonagem elevada e uma frequência de mutação espontânea estável. As células devem ser verificadas para detectar eventuais contaminações por microplasma, não devendo ser utilizadas se estiverem contaminadas.

O ensaio deve ser concebido para ter uma determinada sensibilidade e definição. O número de células e de culturas e as concentrações da substância em estudo a utilizar serão reflexo dos parâmetros definidos (14). O número mínimo de células viáveis que devem sobreviver à exposição e ser utilizadas em cada fase do ensaio deve basear-se na frequência da mutação espontânea. A título indicativo, deve ser utilizado um número de células pelo menos dez vezes superior ao inverso da frequência de mutação espontânea, com um mínimo recomendado de 10^6 células. Para verificação da consistência do desempenho do ensaio, devem estar disponíveis dados históricos adequados sobre o sistema celular utilizado.

1.4.1.2. Meios e condições de cultura

Devem ser utilizados meios de cultura e condições de incubação (recipientes, temperatura, CO_2 , concentração e humidade) apropriados. Os meios devem ser escolhidos de acordo com o sistema selectivo e com o tipo de células utilizados no ensaio. É particularmente importante que sejam escolhidas condições de cultura que garantam o crescimento óptimo das células durante o período de expressão e a capacidade de formação de colónia por parte das células mutantes e não mutantes.

1.4.1.3. Preparação das culturas

As células são propagadas a partir de culturas de arranque, inoculadas no meio de cultura e incubadas a 37 °C. Antes da realização no presente ensaio, as culturas poderão ter de ser limpas de células mutantes eventualmente presentes.

1.4.1.4. Activação metabólica

As bactérias devem ser expostas à substância em estudo tanto na presença como na ausência de um sistema adequado de activação metabólica. O sistema mais geralmente utilizado é uma fracção pós-mitocondrial reforçada com co-factor (S9) preparada a partir de fígados de roedores tratados com agentes de indução enzimática, como por exemplo Aroclor 1254 (15) (16) (17) (18) ou uma mistura de fenobarbitona e β -naftoflavona (19) (20).

A fracção pós-mitocondrial é geralmente utilizada em concentrações na gama de 1-10 % v/v no meio de ensaio final. A escolha e estado do sistema de activação metabólico podem depender da classe de produto químico em estudo. Em alguns casos, poderá ser apropriado utilizar mais de uma concentração de fracção pós-mitocondrial.

Alguns desenvolvimentos, nomeadamente a produção por engenharia genética de linhas celulares que expressem enzimas de activação específicas, podem ter algum potencial em termos de activação endógena. A escolha das linhas celulares utilizadas deve ser cientificamente justificada (por exemplo, pela importância da isoenzima do citocromo P450 para o metabolismo da substância em estudo).

1.4.1.5. *Substância em estudo/preparação*

As substâncias sólidas devem ser dissolvidas ou suspensas em solventes ou veículos adequados e, se necessário, diluídas antes da exposição das células. As substâncias líquidas podem ser adicionadas directamente aos sistemas em estudo e/ou diluídas antes de serem adicionadas às células. Devem ser utilizadas preparações frescas da substância em estudo, a menos que os dados de estabilidade demonstrem que o respectivo armazenamento não coloca problemas para o ensaio.

1.4.2. **Condições de ensaio**

1.4.2.1. *Solvente/veículo*

O solvente/veículo não deve reagir com a substância em estudo, devendo ser compatível com a sobrevivência das células e com a actividade da mistura S9. Caso se utilizem solventes/veículos cujas propriedades não se encontrem totalmente elucidadas devem fornecer-se dados que justifiquem a sua compatibilidade. Sempre que possível, recomenda-se a utilização de solventes/veículos aquosos. Quando forem realizados ensaios de substâncias instáveis na presença de água, os solventes orgânicos utilizados devem ser anidros. A água poderá ser removida através de um filtro molecular.

1.4.2.2. *Concentrações de exposição*

A citotoxicidade, a solubilidade no sistema de ensaio e as alterações do pH ou da pressão osmótica constituem alguns dos critérios a ter em conta na determinação de concentração máxima.

A citotoxicidade deve ser determinada tanto na presença como na ausência de um sistema de activação metabólica na experiência principal, utilizando um indicador apropriado da integridade e crescimento das células, tal como a eficiência relativa de clonagem (sobrevivência) ou o crescimento relativo total. Poderá ser útil determinar a toxicidade e insolubilidade através de uma experiência preliminar.

Devem ser utilizadas pelo menos quatro concentrações analisáveis. Quando existir citotoxicidade, essas concentrações devem abranger uma gama de toxicidade que varie da toxicidade máxima a quase nula; o que significa geralmente que as concentrações devem variar num factor de 2 a $\sqrt{10}$. Se a concentração máxima for definida por razões de citotoxicidade, a sobrevivência relativa (eficiência relativa de clonagem) ou o crescimento relativo total devem ser da ordem dos 10 %-20 % (mas não inferiores a 10 %). Para as substâncias com citotoxicidade relativamente baixa, a concentração máxima do ensaio deve ser a mais baixa de 5 mg/ml, 5 µl/ml ou 0,01 M.

Para substâncias relativamente insolúveis a dose máxima a utilizar deve ser igual ou superior ao limite de solubilidade nas condições de cultura. A insolubilidade no meio final a que as células são expostas deve ser demonstrada. Poderá ser útil avaliar a solubilidade no início e no fim do tratamento, uma vez que a mesma se pode alterar durante a exposição no sistema de ensaio devido à presença de células, de S9, de soro, etc. A insolubilidade pode ser detectada à vista desarmada. O precipitado não deve interferir com as contagens necessárias.

1.4.2.3. *Controlos negativos e positivos*

Cada experiência deve incluir em paralelo controlos positivos e negativos (solvente/veículo), tanto na presença como na ausência de um sistema de activação metabólica. Quando for utilizada activação metabólica, o produto químico de controlo positivo deve ser o mesmo que exige activação para dar uma resposta mutagénica.

As substâncias de controlo positivo podem ser, por exemplo:

Condição de activação metabólica	Locus	Substância	Número CAS	Número EINECS
Ausência de activação metabólica exógena	HPRT	Metanossulfonato de etilo	62-50-0	200-536-7
		Etil nitrosureia	759-73-9	212-072-2
	TK (colónias pequenas e grandes)	Metanossulfonato de metilo	66-27-3	200-625-0
	XPRT	Metanossulfonato de etilo	62-50-0	200-536-7
		Etil nitrosureia	759-73-9	212-072-2
Presença de activação metabólica exógena	HPRT	3-3-Metilcolantreno	56-49-5	200-276-4
		N-Nitrosodimetilamina	62-75-9	200-549-8
		7,12-Dimetilbenzantraceno	57-97-6	200-359-5
	TK (colónias pequenas e grandes)	Ciclofosfamida	50-18-0	200-015-4
		Ciclofosfamida monohidrato	6055-19-2	
		Benzo[a]pireno	50-32-8	200-028-5
		3-3-Metilcolantreno	56-49-5	200-276-5
	XPRT	N-n- Nitrosodimetilamina (níveis elevados de S 9)	62-75-9	200-549-8
		Benzo[a]pireno	50-32-8	200-028-5

Podem ser utilizadas outras substâncias de referência apropriadas para o controlo positivo. Assim, se um laboratório dispuser, por exemplo, de uma base de dados históricos sobre a utilização de 5-bromo 2'-deoxiuridina (número CAS 59-14-3, número EINECS 200-415-9), essa substância de referência poderá também ser utilizada. Quando existam, deve ser analisada a possibilidade de utilizar produtos químicos de controlo positivos de classes químicas relacionadas.

Devem também realizar-se controlos negativos, consistindo apenas em solvente ou veículo e sem a substância em estudo, que serão sujeitos exactamente ao mesmo procedimento que os grupos expostos. Além disso, devem igualmente ser utilizados controlos não expostos à substância em estudo, a menos que existam dados históricos de controlo que demonstrem que o solvente escolhido não induz qualquer efeito deletério ou mutagénico.

1.4.3. Procedimento

1.4.3.1. Exposição à substância em estudo

As células em proliferação devem ser expostas à substância em estudo tanto na presença como na ausência de um sistema de activação metabólica durante um período de tempo apropriado (três a seis horas é geralmente eficaz). O período de exposição pode ser alargado a um ou mais ciclos celulares.

Para cada concentração a ensaiar, podem ser utilizadas culturas expostas únicas ou em duplicado. Quando forem utilizadas culturas únicas, o número de concentrações deve ser aumentado, por forma a garantir um número de culturas adequado para a análise (por exemplo, pelo menos oito concentrações analisáveis). Devem também ser incluídas culturas de controlo negativas (solventes) duplicadas.

As substâncias gasosas ou voláteis devem ser ensaiadas por métodos apropriados, por exemplo em recipientes selados (21) (22).

1.4.3.2. Medição da sobrevivência, viabilidade e frequência de mutação

No fim do período de exposição, as células são lavadas e cultivadas para determinar a sobrevivência e para permitir a expressão fenotípica das mutações. A medição de citotoxicidade através da determinação da eficiência relativa de clonagem (sobrevivência) ou do crescimento total relativo das culturas é geralmente iniciada após o período de exposição.

Para cada *locus* há um tempo mínimo definido para permitir uma expressão fenotípica quase óptima das mutações recentemente induzidas (o HPRT e o XPRT exigem pelo menos de seis a oito dias e o TK pelo menos dois dias). As células são cultivadas em meios com presença e ausência do agente selectivo para determinação, respectivamente, do número de mutações e da eficiência de clonagem. A medição da viabilidade (utilizada para calcular a frequência de mutação) é iniciada no fim do período de expressão através de cultura em placas com meio não selectivo.

Se a substância em estudo der um resultado positivo no ensaio L5178Y TK⁺/-, deve ser realizada uma medição do tamanho das colónias em pelo menos uma das culturas de ensaio (a concentração máxima com resultado positivo) e nos controlos negativos e positivos. Se a substância em estudo der um resultado negativo no ensaio L5178Y⁺/-, deve ser realizada uma medição do tamanho das colónias nos controlos negativos e positivos. Nos estudos que utilizem TK6TK⁺/- a medição do tamanho das colónias poderá também ser realizada.

2. DADOS

2.1. TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Os dados devem incluir a determinação de citotoxicidade e da viabilidade, para além da contagem das colónias e das frequências de mutação nas culturas expostas e nas culturas de controlo. No caso de um resultado positivo no ensaio L5178Y TK⁺/-, as colónias devem ser contabilizadas utilizando o critério das colónias pequenas e grandes em pelo menos uma das concentrações da substância em estudo (a concentração máxima com resultado positivo) e nos controlos negativos e positivos. A natureza molecular e citogénica das células mutantes que formam colónias grandes e pequenas já foi investigada em pormenor (23) (24). No ensaio TK⁺/- as colónias devem ser contabilizadas utilizando os critérios do crescimento normal (colónias grandes) e do crescimento lento (colónias pequenas) (25). As células mutantes que tenham sofrido danos genéticos mais extensos apresentam tempos de duplicação maiores, pelo que formam colónias mais pequenas. Esses danos variam tipicamente da perda da totalidade dos genes a aberrações cromossómicas só visíveis por análise do cariótipo. A indução de mutações que resultam no aparecimento de colónias pequenas foi associada com produtos químicos que induzem aberrações cromossómicas graves (26). As células menos seriamente afectadas por mutações apresentam taxas de crescimento semelhantes às células parentais e formam colónias grandes.

Deve ser apresentada a sobrevivência (eficiências relativas de clonagem) ou o crescimento total relativo. A frequência de mutação deve ser expressa como a relação entre o número de células mutantes e o número de células sobreviventes.

Devem ser fornecidos dados individuais das culturas. Para além disso, todos os dados devem ser apresentados sob a forma de um quadro.

Não há nenhuma exigência concreta para a verificação de uma resposta positiva clara. Os resultados ambíguos devem ser melhor esclarecidos, de preferência com modificação das condições experimentais. Os resultados negativos têm de ser confirmados caso a caso. Nos casos em que a confirmação dos resultados negativos não seja considerada necessária, deve ser apresentada uma justificação. Para a realização de experiências adicionais, deve ser analisada a possibilidade de modificação dos parâmetros do estudo, por forma a aumentar a gama de condições avaliadas. Os parâmetros que podem eventualmente ser alterados incluem a gama de concentrações e as condições de activação metabólica.

2.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Há diversos critérios para determinar um resultado positivo, tais como um aumento da frequência de mutação que esteja relacionado com a concentração na gama testada e/ou que seja reprodutível. Deve ser tomada em consideração, antes de mais, a importância biológica dos resultados. Como auxílio para a avaliação dos resultados dos ensaios, poderão ser utilizados métodos estatísticos. Contudo, a importância estatística não deve ser o único elemento de determinação para uma resposta positiva.

Uma substância cujos resultados não cumpram os critérios acima indicados no presente ensaio é considerada não mutagénica.

Embora a maioria das experiências tenha resultados claramente positivos ou negativos, em casos raros o conjunto dos dados não permitirá que se obtenha uma opinião inequívoca sobre a actividade da substância em estudo, podendo acontecer que os resultados continuem a ser ambíguos ou duvidosos independentemente do número de vezes que a experiência seja repetida.

Um resultado positivo no ensaio de mutação génica em células de mamíferos *in vitro* indica que a substância induz mutações génicas nas culturas de células de mamíferos utilizadas. Uma resposta positiva à concentração que seja reprodutível é mais significativa. Um resultado negativo indica que, nas condições do ensaio, a substância não induz mutações génicas nas culturas de células de mamífero utilizadas.

3. APRESENTAÇÃO DE RELATÓRIOS

RELATÓRIO DE ENSAIO

O relatório de ensaio deve incluir a seguinte informação:

Solvente/veículo:

- justificação para a escolha do veículo,
- solubilidade e estabilidade da substância em estudo no solvente/veículo, se conhecida.

Células:

- tipo e origem das células,
- número de culturas celulares,
- número de transferências, quando aplicável,
- métodos de manutenção da cultura celular, quando aplicável,
- ausência de micoplasma.

Condições de ensaio:

- justificação para a selecção das concentrações e do número de culturas, incluindo, por exemplo, dados sobre a citotoxicidade e sobre as limitações de solubilidade, quando disponíveis,
- composição dos meios, concentração de CO₂
- concentração da substância em estudo,
- volumes adicionados do veículo e da substância em estudo,
- temperatura de incubação,
- tempo de incubação,
- duração de tratamento,
- densidade celular durante a exposição,
- tipo e composição do sistema de activação metabólica, incluindo critérios de aceitabilidade,
- controlos positivos e negativos,
- duração do período de expressão (incluindo o número de células inoculadas e os calendários de sub-cultura e de alimentação, quando aplicável),
- agentes selectivos,
- critérios definidos para que o estudo seja considerado positivo, negativo ou não conclusivo,

- métodos utilizados para a enumeração dos números de células mutantes e viáveis,
- definição das colónias cuja dimensão e tipo são caracterizados (incluindo os critérios para a definição de colónias «pequenas» e «grandes», conforme apropriado).

Resultados:

- sinais de toxicidade,
- sinais de precipitação,
- dados sobre o pH e a pressão osmótica durante a exposição à substância de ensaio, caso tenham sido determinados,
- dimensão das colónias, caso tenha sido medida pelo menos para os controlos positivos e negativos,
- capacidade do laboratório para a detecção de pequenas colónias mutantes no sistema L5178Y TK⁺/-, quando aplicável,
- relação dose-resposta, quando seja possível de determinar,
- análise estatística, quando tenha sido realizada,
- dados relativos ao controlo negativo (solvente/veículo) e positivo realizados em paralelo com o ensaio,
- dados históricos sobre o controlo negativo (solvente/veículo) e positivo, com as gamas, valores médios e desvios-padrão,
- frequência das mutações.

Discussão dos resultados.

Conclusões.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Moore, M.M., DeMarini, D.M., DeSerres, F.J. and Tindall, K.R. (Eds.), (1987) Banbury Report 28: Mammalian Cell Mutagenesis, Cold Spring Harbor Laboratory, New York.
- (2) Chu, E.H.Y. and Mallin, H.V., (1968) Mammalian Cell Genetics. II. Chemical Induction of Specific Locus Mutations in Chinese Hamster Cells *In Vitro*, Proc. Natl. Acad. Sci., USA, 61, p. 1306-1312.
- (3) Liber, H.L. and Thilly, W.G., (1982) Mutation Assay at the Thymidine Kinase Locus in Diploid Human Lymphoblasts. Mutation Res., 94, p. 467-485.
- (4) Moore, M.M., Harington-Brock, K., Doerr, C.L. and Dearfield, K.L., (1989) Differential Mutant Quantitation at the Mouse Lymphoma TK and CHO HGPRT Loci. Mutagenesis, 4, p. 394-403.
- (5) Aaron, C.S. and Stankowski, Jr.L.F., (1989) Comparison of the AS52/XPRT and the CHO/HPRT Assays: Evaluation of Six Drug Candidates. Mutation Res., 223, p. 121-128.
- (6) Aaron, C.S., Bolcsfoldi, G., Glatt, H.R., Moore, M., Nishi, Y., Stankowski, Jr.L.F., Theiss, J. and Thompson, E., (1994) Mammalian Cell Gene Mutation Assays Working Group Report. Report of the International Workshop on Standardisation of Genotoxicity Test Procedures. Mutation Res., 312, p. 235-239.

- (7) Scott, D., Galloway, S.M., Marshall, R.R., Ishidate, M., Brusick, D., Ashby, J. and Myhr, B.C., (1991) Genotoxicity Under Extreme Culture Conditions. A report from ICPEMC Task Group 9. *Mutation Res.*, 257, p. 147-204.
- (8) Clive, D., McCuen, R., Spector, J.F.S., Piper, C. and Mavournin, K.H., (1983) Specific Gene Mutations in L5178Y Cells in Culture. A Report of the U.S. Environmental Protection Agency Gene-Tox Program. *Mutation Res.*, 115, p. 225-251.
- (9) Li, A.P., Gupta, R.S., Heflich, R.H. and Wasson, J.S., (1988) A Review and Analysis of the Chinese Hamster Ovary/Hypoxanthine Guanine Phosphoribosyl Transferase System to Determine the Mutagenicity of Chemical Agents: A Report of Phase III of the U.S. Environmental Protection Agency Gene-Tox Program. *Mutation Res.*, 196, p. 17-36.
- (10) Li, A.P., Carver, J.H., Choy, W.N., Hsie, A.W., Gupta, R.S., Loveday, K.S., O'Neill, J.P., Riddle, J.C., Stankowski, L.F. Jr. and Yang, L.L., (1987) A Guide for the Performance of the Chinese Hamster Ovary Cell/Hypoxanthine-Guanine Phosphoribosyl Transferase Gene Mutation Assay. *Mutation Res.*, 189, p. 135-141.
- (11) Liber, H.L., Yandell, D.W. and Little, J.B., (1989) A Comparison of Mutation Induction at the TK and HPRT Loci in Human Lymphoblastoid Cells: Quantitative Differences are Due to an Additional Class of Mutations at the Autosomal TK Locus. *Mutation Res.*, 216, p. 9-17.
- (12) Stankowski, L.F. Jr., Tindall, K.R. and Hsie, A.W., (1986) Quantitative and Molecular Analyses of Ethyl Methanesulphonate -and ICR 191- Induced Molecular Analyses of Ethyl Methanesulphonate and ICR 191-Induced Mutation in AS52 Cells. *Mutation Res.*, 160, p. 133-147.
- (13) Turner, N.T., Batson, A.G. and Clive, D., (1984) Procedures for the L5178Y/TK⁺ — TK⁺ Mouse Lymphoma Cell Mutagenicity Assay. In: Kilbey, B.J. et al (eds.) *Handbook of Mutagenicity Test Procedures*, Elsevier Science Publishers, New York, p. 239-268.
- (14) Arlett, C.F., Smith, D.M., Clarke, G.M., Green, M.H.L., Cole, J., McGregor, D.B. and Asquith, J.C., (1989) Mammalian Cell Gene Mutation Assays Based upon Colony Formation. In: *Statistical Evaluation of Mutagenicity Test Data*, Kirkland, D.J., Ed., Cambridge University Press, p. 66-101.
- (15) Abbondandolo, A., Bonatti, S., Corti, G., Fiorio, R., Loprieno, N. and Mazzaccaro, A., (1977) Induction of 6-Thioguanine-Resistant Mutants in V79 Chinese Hamster Cells by Mouse-Liver Microsome-Activated Dimethylnitrosamine. *Mutation Res.*, 46, p. 365-373.
- (16) Ames, B.N., McCann, J. and Yamasaki, E., (1975) Methods for Detecting Carcinogens and Mutagens with the Salmonella/Mammalian-Microsome Mutagenicity Test. *Mutation Res.*, 31, p. 347-364.
- (17) Clive, D., Johnson, K.O., Spector, J.F.S., Batson, A.G. and Brown M.M.M., (1979) Validation and Characterization of the L5178Y/TK⁺ Mouse Lymphoma Mutagen Assay System. *Mutat. Res.*, 59, p. 61-108.
- (18) Maron, D.M. and Ames, B.N., (1983) Revised Methods for the Salmonella Mutagenicity Test. *Mutation Res.*, 113, p. 173-215.
- (19) Elliott, B.M., Combes, R.D., Elcombe, C.R., Gatehouse, D.G., Gibson, G.G., Mackay, J.M. and Wolf, R.C., (1992) Alternatives to Aroclor 1254-Induced S9 in *In Vitro* Genotoxicity Assays. *Mutagenesis*, 7, p. 175-177.
- (20) Matsushima, T., Sawamura, M., Hara, K. and Sugimura, T., (1976) A Safe Substitute for Polychlorinated Biphenyls as an Inducer of Metabolic Activation Systems. In: *In vitro Metabolic Activation in Mutagenesis Testing*, de Serres, F.J., Fouts, J.R., Bend, J.R. and Philpot, R.M. (eds), Elsevier, North-Holland, p. 85-88.
- (21) Krahn, D.F., Barsky, F.C. and McCooey, K.T., (1982) CHO/HGPRT Mutation Assay: Evaluation of Gases and Volatile Liquids. In: Tice, R.R., Costa, D.L., Schaich, K.M. (eds). *Genotoxic Effects of Airborne Agents*. New York, Plenum, p. 91-103.
- (22) Zamora, P.O., Benson, J.M., Li, A.P. and Brooks, A.L., (1983) Evaluation of an Exposure System Using Cells Grown on Collagen Gels for Detecting Highly Volatile Mutagens in the CHO/HGPRT Mutation

Assay. Environmental Mutagenesis, 5, p. 795-801.

- (23) Applegate, M.L., Moore, M.M., Broder, C.B., Burrell, A. and Hozier, J.C., (1990) Molecular Dissection of Mutations at the Heterozygous Thymidine Kinase Locus in Mouse Lymphoma Cells. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 87, p. 51-55.
- (24) Moore, M.M., Clive, D., Hozier, J.C., Howard, B.E., Batson, A.G., Turner, N.T. and Sawyer, J., (1985) Analysis of Trifluorothymidine-Resistant (TFT^r) Mutants of L5178Y/TK^{+/+} Mouse Lymphoma Cells. Mutation Res., 151, p. 161-174.
- (25) Yandell, D.W., Dryja, T.P. and Little, J.B., (1990) Molecular Genetic Analysis of Recessive Mutations at a Heterozygous Autosomal Locus in Human Cells. Mutation Res., 229, p. 89-102.
- (26) Moore, M.M. and Doerr, C.L., (1990) Comparison of Chromosome Aberration Frequency and Small-Colony TK-Deficient Mutant Frequency in L5178Y/TK^{+/+}-3.7.2C Mouse Lymphoma Cells. Mutagenesis, 5, p. 609-614.

B.18. **LESÃO E REPARAÇÃO DO ADN — SÍNTESE NÃO PROGRAMADA — CÉLULAS DE MAMÍFERO IN VITRO**

1. **MÉTODO**

1.1. **INTRODUÇÃO**

Ver Introdução Geral, parte B.

1.2. **DEFINIÇÃO**

Ver Introdução Geral, parte B.

1.3. **SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA**

Nenhuma.

1.4. **PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO**

O Teste de Síntese Não Programada de ADN (Unscheduled DNA Synthesis-UDS) mede a síntese de ADN para reparação após excisão e remoção de um fragmento de ADN contendo uma região de lesão induzida por agentes químicos e físicos. O teste baseia-se na incorporação da timidina marcada com trítio (^3H -TdR) no ADN de células de mamífero não se encontrando na fase S do ciclo celular. Pode determinar-se a incorporação de ^3H -TdR examinando o ADN proveniente das células tratadas por auto-radiografia ou por contagem de cintilação em meio líquido (LSC-Liquid Scintillation Counting). As células de mamífero em cultura, com a excepção dos hepatócitos primários de rato, são tratadas com a substância a testar em presença e na ausência de um sistema exógeno de activação metabólica. A UDS pode também ser medida por métodos *in vivo*.

1.5. **CRITÉRIOS QUALITATIVOS**

Nenhum.

1.6. **DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO**

Preparativos

As substâncias a testar, bem como as de controlo ou de referência serão preparadas no meio de cultura, dissolvidas ou colocadas em suspensão em veículos apropriados, sendo depois diluídas em meio de cultura, antes de utilizadas no ensaio. A concentração final não deverá afectar a viabilidade celular.

Podem ser utilizadas neste ensaio culturas primárias de hepatócitos de rato, linfócitos humanos ou linhas celulares estabelecidas (por exemplo, fibroblastos humanos diplóides).

As células serão expostas à substância a testar em presença e na ausência de um sistema de activação metabólica apropriado.

Condições experimentais

Número de culturas

São necessárias para cada ponto experimental pelo menos duas culturas celulares para a auto-radiografia e seis culturas celulares (ou menos se tal se justificar tecnicamente) para a contagem de cintilação em meio líquido.

Uso de controlos negativos e positivos

Deverão ser incluídos em cada experiência controlos simultâneos (não tratados e/ou veículo) com e sem activação metabólica.

Para o ensaio com hepatócitos de rato, por exemplo, pode utilizar-se como controlo positivo o 7,12 DMBA (7,12-dimetil benzantraceno) ou o 2-AAF (2-acetilaminofluoreno). No caso de linhas celulares estabelecidas, em ensaios com auto-radiografia ou LSC realizados sem activação metabólica, pode utilizar-se como controlo o 4-NQO (4-nitroquinolina N-óxido); quando se tiver recorrido a sistemas de activação metabólica, a N-dimetil-nitrosamina é um dos compostos utilizáveis como controlo positivo.

Concentrações de exposição

Deverá utilizar-se uma gama de concentrações da substância a testar para permitir uma boa determinação da resposta. A concentração máxima deverá produzir alguns efeitos citotóxicos. As substâncias relativamente insolúveis na água serão testadas até ao seu limite de solubilidade. No que respeita às substâncias não tóxicas francamente solúveis na água, a concentração máxima a testar deverá ser determinada caso a caso.

Células

Para a manutenção das culturas recorrer-se-á a meios de cultura, a uma concentração de CO₂, a uma temperatura e a humidade apropriados. As linhas celulares estabelecidas deverão ser examinadas periodicamente para detectar uma contaminação por *Mycoplasma*.

Activação metabólica

Não se utiliza nenhum sistema de activação metabólica nas culturas primárias de hepatócitos. As linhas celulares estabelecidas e os linfócitos são expostos à substância a testar em presença e na ausência de um sistema de activação metabólica apropriado.

Procedimentos

Preparação das culturas

As linhas celulares estabelecidas provenientes de culturas-mãe (por exemplo, por tripsinização ou por agitação) são semeadas em recipientes de cultura numa densidade adequada e incubada a 37 °C.

As culturas de pouca duração de hepatócitos de rato são estabelecidas permitindo que os hepatócitos recentemente dissociados num meio apropriado possam aderir à superfície de crescimento.

As culturas de linfócitos humanos são realizadas com técnicas apropriadas.

Tratamento das culturas com substância a testar

Hepatócitos primários de rato

Tratam-se hepatócitos primários de rato, isolados recentemente, com a substância a testar no meio contendo ³H-TdR, durante um período de tempo adequado. No fim do período de tratamento o meio será eliminado, as células lavadas, fixadas e secadas. As lâminas são mergulhadas numa emulsão de auto-radiografia [em alternativa pode usar-se uma película fotográfica (*stripping film*)], passando depois à exposição, revelação, coloração e contagem.

Linhas celulares estabelecidas e linfócitos

Técnicas auto-radiográficas: Expõem-se as culturas celulares à substância a testar durante períodos de tempo adequados, sendo tratadas em seguida com a ³H-TdR. A duração da exposição será em função da natureza da substância, da actividade do sistema metabólico e do tipo das células. Para detectar o pico da UDS, deverá acrescentar-se a ³H-TdR, seja ao mesmo tempo que a substância a testar, seja nos minutos que se seguem à exposição à substância a testar. A escolha entre estas duas técnicas será determinada por eventuais interacções entre a substância testada e a ³H-TdR. Para se poder fazer a distinção entre a UDS e a replicação semiconservativa do ADN pode inibir-se esta última utilizando-se, por exemplo, um meio deficiente em arginina, um baixo teor de sódio ou acrescentando-se hidroxíureia ao meio de cultura.

Medição LSC de UDS: Antes de proceder ao tratamento com a substância a testar, bloqueia-se a entrada das células na fase S da forma descrita acima; expõem-se em seguida as células à substância a testar, como descrito para a auto-radiografia. No fim do período de incubação extrai-se o ADN das células e determina-se a quantidade total de ADN, bem como a quantidade de ³H-TdR incorporada.

É preciso notar que, se forem utilizados linfócitos humanos, não é necessário suprimir a replicação semiconservativa do ADN nas culturas não estimuladas.

*Análise**Determinações auto-radiográficas*

Para determinar a UDS nas células em cultura não se contam os núcleos em fase S. Deverão contar-se pelo menos 50 células por concentração. As lâminas serão codificadas antes da contagem. Em cada lâmina serão contados vários campos escolhidos ao acaso, suficientemente afastados uns dos outros. Determinar-se-á a quantidade de ^3H -TdR incorporado no citoplasma contando-se três superfícies do tamanho do núcleo no citoplasma de cada célula contada.

Determinação LSC

Nas determinações LSC-UDS deveria utilizar-se um número adequado de culturas para cada concentração e para os controlos.

Todos os resultados serão confirmados por experiências independentes.

2. RESULTADOS

Os resultados deverão ser apresentados sob a forma de quadros.

2.1. DETERMINAÇÕES AUTO-RADIOGRÁFICAS

A quantidade de ^3H -TdR incorporada no citoplasma, bem como o número de grãos contados por núcleo celular, serão registados separadamente.

A média, a mediana e a moda podem ser utilizadas para descrever a distribuição da quantidade de ^3H -TdR incorporado no citoplasma, bem como o número de grãos por núcleo.

2.2. DETERMINAÇÃO LSC

Para as determinações LSC a incorporação de ^3H -TdR deverá ser indicada sob a forma dpm/ug do ADN. Pode utilizar-se a média dos dpm/ug do ADN com o seu desvio-padrão para descrever a distribuição da incorporação.

Os resultados deverão ser avaliados com métodos estatísticos apropriados.

3. RELATÓRIO**3.1. RELATÓRIO**

O relatório deverá conter as seguintes informações:

- células utilizadas, densidade e número de passagens na ocasião do tratamento, número de culturas celulares,
- métodos utilizados na manutenção das culturas, incluindo o meio, a temperatura e a concentração de CO_2 ,
- substância a testar, veículo, concentrações e justificação da escolha das concentrações usadas no teste,
- pormenores relativos aos sistemas da activação metabólica,
- esquema do tratamento,
- controlos positivos e negativos,
- técnica de auto-radiografia utilizada,

- métodos utilizados para bloquear a entrada das células na fase S,
- técnicas utilizadas para extracção do ADN e determinação da quantidade total de ADN nas determinações LSC,
- relação dose/resposta, se possível,
- avaliação estatística,
- discussão dos resultados,
- interpretação dos resultados.

3.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

4. REFERÊNCIAS

Ver Introdução Geral, parte B.

B.19. TESTE IN VITRO DE TROCA ENTRE CROMÁTIDES DO MESMO CROMOSSOMA

(Sister Chromatid Exchange — SCE)

1. MÉTODO**1.1. INTRODUÇÃO**

Ver Introdução Geral, parte B.

1.2. DEFINIÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Nenhuma.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

O ensaio de troca entre cromátides do mesmo cromossoma (SCE) constitui um teste de curto prazo que se destina a detectar as trocas recíprocas de ADN entre as cromátides de um mesmo cromossoma em duplicação. As SCE representam a troca recíproca de produtos de replicação do ADN em *loci* aparentemente homólogos. O processo de troca implica provavelmente uma cisão e uma fusão do ADN, apesar de sabermos pouco acerca da sua base molecular. Para detectar as SCE é necessário poder marcar separadamente as cromátides do mesmo cromossoma; isto é possível pela incorporação da bromodesoxiuridina (BrdU) no ADN cromossómico durante dois ciclos celulares.

As células de mamífero *in vitro* são expostas à substância a testar na presença e na ausência de um sistema exógeno de activação metabólica de mamífero, se for caso disso, e colocadas num meio de cultura contendo (BrdU) durante dois ciclos de replicação. Após tratamento com um inibidor do fuso (por exemplo, colchicina) a fim de acumular as células numa fase da mitose «metáfase-like» (c-metáfase) recolhem-se as células e fazem-se preparações de cromossomas.

1.5. CRITÉRIOS QUALITATIVOS

Nenhum.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO*Preparativos*

- podem ser utilizadas no ensaio culturas primárias (linfócitos humanos) ou linhas celulares estabelecidas (por exemplo, células de ovário de hamster chinês). As linhas celulares deverão ser examinadas para detectar uma eventual contaminação por *Mycoplasma*,
- serão utilizados meios de cultura e condições de incubação adequados (por exemplo, temperatura, recipientes de cultura, concentração em CO₂ e humidade),
- as substâncias a testar podem ser preparadas nos meios de cultura, dissolvidas ou colocadas em suspensão em veículos apropriados antes de proceder ao tratamento das células. A concentração final do veículo no meio de cultura não deverá afectar nem a viabilidade das células nem a taxa de crescimento, e os efeitos sobre a frequência de SCE serão verificados por meio de um solvente de controlo,
- as células serão expostas à substância a testar na presença e na ausência de um sistema exógeno de activação metabólica de mamífero. Quando se utilizarem tipos celulares com actividade metabólica intrínseca, a taxa e a natureza dessa actividade deverão ser adequadas à classe química testada.

*Condições experimentais***Número de culturas**

Serão utilizadas pelo menos duas culturas separadas para cada ponto experimental.

Utilização de controlos negativos e positivos

Deverão ser incluídos em cada experiência controlos positivos utilizando uma substância com acção directa e uma substância necessitando de activação metabólica; deverá também utilizar-se um controlo para o veículo.

As substâncias seguintes podem, por exemplo, ser utilizadas como controlos positivos:

- substância com acção directa:
 - etilmetanosulfonato de etilo,
- substância com acção indirecta:
 - ciclofosfamida.

Se for caso disso, pode incluir-se um controlo positivo suplementar pertencendo à mesma classe química da substância a testar.

Concentração de exposição

Deveriam ser utilizadas pelo menos três concentrações da substância a testar, convenientemente espaçadas. A concentração máxima deverá produzir um efeito tóxico significativo mas permitindo ainda uma replicação celular adequada. As substâncias relativamente insolúveis na água serão testadas até ao seu limite de solubilidade com métodos apropriados. No caso de substâncias não tóxicas francamente solúveis na água a concentração máxima da substância a testar deverá ser determinada caso a caso.

Procedimento

Preparação das culturas

Utilizam-se linhas celulares estabelecidas provenientes de culturas-mãe (por exemplo, por tripsinização ou por agitação), semeadas em recipientes de cultura, numa densidade adequada e incubadas a 37 °C. No caso de culturas em monocamada, o número de células por recipiente deveria ser ajustado de forma a que as culturas não estejam confluentes a mais de 50 % no momento da colheita. As células podem também ser utilizadas na forma de cultura em suspensão. As culturas de linfócitos humanos são preparadas a partir de sangue heparinizado utilizando técnicas apropriadas e incubadas a 37 °C.

Tratamento

São expostas à substância a testar células em fase exponencial de crescimento, durante um lapso de tempo adequado; na maior parte dos casos uma a duas horas podem ser suficientes mas, nalguns casos, o tratamento pode ser prolongado para cobrir até dois ciclos celulares completos. As células que não tiverem actividade metabólica intrínseca suficiente deverão ser expostas à substância a testar na presença e na ausência de um sistema de activação metabólica apropriado. No fim do período de exposição, as células são lavadas de forma a eliminar a substância testada, e depois cultivadas na presença de BrdU durante dois ciclos de replicação. Um outro método consiste na exposição simultânea das células à substância testada e à BrdU durante dois ciclos celulares completos.

As culturas de linfócitos humanos são tratadas enquanto se encontrarem num estado de semi-sincronização.

As células são analisadas no decurso da segunda divisão após tratamento, garantindo assim a exposição das fases mais sensíveis de ciclo celular à substância a testar. Todas as culturas a que se adicionou BrdU serão manipuladas na obscuridade ou com pouca iluminação proveniente de lâmpadas incandescentes até ao momento da colheita das células, para reduzir a fotólise do ADN contendo BrdU.

Colheita das células

As culturas de células são tratadas com um inibidor do fuso (por exemplo, colchicina) uma a quatro horas antes da colheita. Cada cultura é colhida e processada separadamente para a preparação dos cromossomas.

Preparação dos cromossomas e coloração

As preparações de cromossomas são feitas com métodos *Standard* de citogenética. Podem utilizar-se várias técnicas para corar as lâminas de forma a pôr em evidência as SCE (por exemplo, o método por fluorescência mais Giemsa).

Análise

O número de células analisado será em função da frequência espontânea controlo de SCE. Habitualmente analisam-se pelo menos 25 metafases de boa qualidade, por cultura, para contar as SCE. As lâminas são codificadas antes da análise. Para os linfócitos humanos apenas são analisadas as metafases contendo 46 centrómeros. Para as linhas celulares estabelecidas apenas são analisadas as metafases com ± 2 centrómeros que o número modal. Deverá ser precisado se uma inversão de coloração ao nível do centrómero é ou não considerada como SCE. Os resultados serão confirmados por uma experiência independente.

2. RESULTADOS

Os resultados deverão ser apresentados em quadros. O número de SCE por metafase e o número de SCE por cromossoma são dados separadamente para todas as culturas, tratadas e controlos.

Os resultados serão analisados com métodos estatísticos adequados.

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO TESTE

O relatório deveria conter as informações seguintes:

- células utilizadas, métodos de manutenção da cultura celular,
- condições experimentais: composição de meios, concentração de CO₂, concentração da substância a testar, veículo utilizado, temperatura de incubação, tempo de tratamento, inibidor do fuso utilizado, concentração e duração do tratamento com este, tipo de sistema de activação de mamífero utilizado, controlos positivos e negativos,
- número de culturas celulares por ponto experimental,
- pormenores relativos à técnica utilizada na preparação das lâminas,
- número de metafases analisadas (resultados indicados separadamente para cada cultura),
- número médio de SCE por célula e por cromossoma (resultados indicados separadamente para cada cultura),
- critério de contagem de SCE,
- justificação da escolha das doses,
- relação dose/resposta, se possível,
- avaliação estatística,
- discussão dos resultados,
- interpretação dos resultados.

3.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

4. **REFERÊNCIAS**

Ver Introdução Geral, parte B.

B.20. TESTE DE LETALIDADE RECESSIVA LIGADA AO SEXO NA *DROSOPHILA MELANOGASTER***1. MÉTODO****1.1. INTRODUÇÃO**

Ver Introdução Geral, parte B.

1.2. DEFINIÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Nenhuma.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

O teste de letalidade recessiva ligada ao sexo (SLRL — Sex Linked Recessive Letal Test) utilizando a *Drosophila melanogaster* detecta a ocorrência de mutações — mutações pontuais bem como pequenas deleções — na linha germinal do insecto. Esta prova é um ensaio de mutação *forward* capaz de detectar mutações em cerca de 800 loci do cromossoma X, o que representa cerca de 80 % de todos os loci deste cromossoma. O cromossoma X representa cerca de um quinto do genoma haplóide completo.

As mutações do cromossoma X de *Drosophila melanogaster* são expressas fenotipicamente nos machos portadores do gene mutante. Quando a mutação é letal no estado hemizigótico, a sua presença é deduzida a partir da ausência de um dos grupos de descendência masculina, em vez dos dois habitualmente produzidos por uma fêmea heterozigótica. O SLRL baseia-se nestes factos, utilizando cromossomas especificamente marcados e com rearranjos da sua estrutura.

1.5. CRITÉRIOS QUALITATIVOS

Nenhum.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO*Preparativos**Stocks*

Podem ser utilizados machos de um *stock* de tipo selvagem bem definido e fêmeas do *stock* Muller-5. Podem também ser utilizados outros *stocks* de fêmeas marcadas adequadamente, com cromossomas X invertidos de forma múltipla.

Substância a testar

As substâncias a testar devem ser dissolvidas em água. As substâncias insolúveis na água podem ser dissolvidas ou colocadas em suspensão em veículos apropriados (por exemplo, uma mistura de etanol com Tween-60 ou 80), sendo depois diluídas em água ou numa solução salina antes da administração. Deve evitar-se como veículo o dimetilsulfóxido (DMSO).

Número de animais

O teste deve ser concebido com uma sensibilidade e grau de significância preestabelecido. A frequência de mutantes espontâneos observada no grupo de controlo irá influenciar fortemente o número de cromossomas tratados que devem ser analisados.

Via de administração

A administração pode ser oral, por injeção ou por exposição a gases ou vapores. A ingestão da substância testada pode ser feita por intermédio de uma solução açucarada. Se necessário, as substâncias podem ser dissolvidas numa solução de NaCl a 0,7 % e injectadas no tórax ou no abdómen.

Uso de controlos negativos e positivos

Devem ser incluídos controlos negativos (veículo) e positivos. No entanto, se existirem dados apropriados de experiências anteriores, não são necessários controlos simultâneos.

Níveis de exposição

Devem utilizar-se três níveis de exposição. Para uma avaliação preliminar pode utilizar-se apenas uma única concentração da substância testada, podendo essa ser a concentração máxima tolerada ou a concentração produzindo alguns sinais de toxicidade. No caso de substâncias não tóxicas deverá utilizar-se a concentração máxima praticável.

Procedimento

Tratam-se com a substância a testar machos de fenótipo selvagem (com três a cinco dias de idade), sendo acasalados individualmente a um maior número de fêmeas virgens do *stock* Muller-5 ou outro *stock* marcado de forma apropriada (com cromossomas X invertidos de forma múltipla). Estas fêmeas serão substituídas de dois em dois ou de três em três dias por outras fêmeas virgens para se cobrir o ciclo germinal completo. A descendência destas fêmeas é examinada para detectar os efeitos sobre o esperma maduro, as espermátides em estádios precoces, intermédios ou tardios, os espermátócitos e as espermatogónias na ocasião do tratamento.

As fêmeas F₁ heterozigóticas provenientes dos cruzamentos mencionados acima são acasaladas individualmente (isto é, uma fêmea por frasco de experiência) com os seus irmãos. Na geração F₂ examina-se cada cultura para detectar a ausência de machos do tipo selvagem. Se uma cultura revelar ser proveniente de uma fêmea F₁ portadora de um gene letal no cromossoma X paterno (isto é, quando não se observar nenhum macho portador do cromossoma tratado), devem testar-se as filhas dessa fêmea com o mesmo genotipo para verificar se a letalidade se repete na geração seguinte.

2. RESULTADOS

Os resultados devem ser apresentados em quadros indicando o número de cromossomas X tratados, o número de machos não férteis e o número de cromossomas letais por cada concentração de exposição e por cada período de acasalamento para cada macho tratado. O número de agregados de diferentes dimensões deverá ser indicado. Estes resultados deverão ser confirmados por uma experiência separada.

Deverão ser utilizados métodos estatísticos apropriados na avaliação dos testes de letalidade recessiva ligada ao sexo. O reagrupamento de genes letais recessivos provenientes de um único macho deverá ser considerado e avaliado com um método estatístico apropriado.

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO TESTE

O relatório do teste deverá incluir as seguintes informações:

- *stock*: *stocks* ou *estirpes* de *Drosophila* utilizados, idade dos insectos, número de machos tratados, número de machos estéreis, número de culturas F₂ estabelecidas, número de cromossomas portadores de um gene letal detectado em cada estágio das células germinais,
- critérios aplicados para determinar as dimensões dos grupos tratados,
- condições experimentais: descrição pormenorizada do esquema de tratamento e de amostragem, níveis de exposição, dados sobre a toxicidade, controlos negativos (solvente) e positivos se necessário,
- critérios aplicados na contagem das mutações letais,
- relação exposição/efeito, se possível,
- e avaliação estatística dos resultados,

- discussão dos resultados,
- interpretação dos resultados.

3.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

4. REFERÊNCIAS

Ver Introdução Geral, parte B.

B.21. TESTES DE TRANSFORMAÇÃO DE CÉLULAS DE MAMÍFERO *IN VITRO***1. MÉTODO****1.1. INTRODUÇÃO**

Ver Introdução Geral, parte B.

1.2. DEFINIÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Nenhuma.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Podem utilizar-se sistemas de cultura de células de mamífero para detectar *in vitro* alterações do fenótipo induzidas por substâncias químicas associadas com uma transformação maligna *in vivo*. Entre as culturas mais frequentemente utilizadas contam-se as C3H10T 1/2, 3T3, SHE, rato Fischer; os testes baseiam-se nas alterações da morfologia celular, formação de ninhos celulares ou alterações ligadas à necessidade de ancoragem a um agar semi-sólido. Existem outros sistemas menos frequentemente utilizados que detectam outras alterações fisiológicas ou morfológicas nas células depois de uma exposição a carcinogénios químicos. Nenhum dos fenómenos finais destes testes *in vitro* apresenta uma relação mecanicista estabelecida com o cancro. Alguns dos sistemas de testes são capazes de detectar promotores de tumores. Pode determinar-se a citotoxicidade medindo o efeito da substância a testar sobre a capacidade para formar uma colónia (eficácia de *cloning*) ou ainda sobre as taxas de crescimento das culturas. A medição da citotoxicidade tem por fim determinar se a exposição da substância testada foi toxicologicamente significativa mas não pode servir para calcular a frequência das transformações em todas as provas uma vez que algumas destas podem implicar uma incubação prolongada e/ou uma nova passagem.

1.5. CRITÉRIOS QUALITATIVOS

Nenhum.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO*Preparativos**Células*

Podem ser utilizadas várias linhas celulares ou células primárias, dependendo do teste de transformação utilizado. O investigador deve assegurar-se de que as células do teste efectuado apresentam a alteração fenotípica adequada depois da exposição a carcinogénios conhecidos e que a validade e fiabilidade do teste efectuado no seu laboratório sejam comprovadas e documentadas.

Meio

Deverão utilizar-se meios e condições de ensaio adequados ao teste de transformação utilizado.

Substância a testar

As substâncias a testar podem ser preparadas nos meios de cultura, e dissolvidas ou colocadas em suspensão em veículos apropriados antes do tratamento das células. A concentração final do veículo no sistema de cultura não deve afectar a viabilidade celular nem a taxa de crescimento, nem a incidência de transformações.

Activação metabólica

As células deverão ser expostas à substância a testar na presença e na ausência de um sistema de activação metabólica adequado. Alternativamente, quando se utilizar tipos de células com actividade metabólica intrínseca, a natureza dessa actividade será comprovadamente apropriada à classe química testada.

*Condições do ensaio**Utilização de controlos positivos e negativos*

Serão incluídos em cada experiência controlos positivos utilizando uma substância com acção directa e uma substância necessitando de activação metabólica; utilizar-se-á igualmente um controlo negativo (veículo).

Podem ser utilizadas como controlos positivos as seguintes substâncias:

- substâncias químicas com acção directa:
 - etilmetanosulfonato,
 - β -propiolactona,
- substâncias necessitando de activação metabólica:
 - 2-acetilaminofluoreno,
 - 4-dimetilaminobenzeno,
 - 7,12-dimetilbenzantraceno.

Deverá ser incluído, quando justificado, um controlo positivo suplementar pertencendo à mesma classe química que a substância testada.

Concentrações de exposição

Deverão ser utilizadas várias concentrações das substâncias a testar. Estas concentrações deverão produzir um efeito tóxico dependente da concentração; a concentração máxima deverá produzir uma baixa taxa de sobrevivência, a concentração mínima uma taxa de sobrevivência próxima da observada nos controlos negativos. As substâncias relativamente insolúveis na água serão testadas até ao seu limite de solubilidade com métodos apropriados. No caso de substâncias não tóxicas, francamente solúveis na água, a concentração máxima deverá ser determinada caso a caso.

Procedimento

As células serão expostas durante um período de tempo dependente do sistema celular utilizado, que pode implicar um novo tratamento acompanhado de mudança de meio (e se necessário uma nova mistura de activação metabólica) se a exposição for prolongada. As células que não tenham actividade metabólica intrínseca suficiente deverão ser expostas à substância a testar na presença e na ausência de um sistema de activação metabólica apropriado. No fim do período de exposição, as células são lavadas de forma a eliminar a substância testada e cultivadas em condições que permitam o aparecimento do fenótipo transformado em estudo sendo então determinada a incidência desta transformação. Todos os resultados deverão ser confirmados por uma experiência independente.

2. RESULTADOS

Os resultados deverão ser apresentados em quadros e podem ser apresentados de várias formas consoante o método utilizado, por exemplo, contagem por placa, placas positivas ou número de células transformadas. Quando apropriado, a sobrevivência será expressa em percentagem das taxas de controlo e a frequência de transformação corresponderá ao número de células transformadas por número de sobreviventes. Os resultados deverão ser avaliados com métodos estatísticos apropriados.

3. RELATÓRIO**3.1. RELATÓRIO DO TESTE**

O relatório do teste deverá incluir as seguintes informações:

- tipo de célula utilizada, número de culturas de células, métodos de manutenção das culturas de células,

- condições do teste: concentração da substância a testar, veículo usado, tempo de incubação, duração e frequência do tratamento, densidade celular durante o tratamento, tipo de sistema exógeno de activação metabólica utilizado, controlos positivos e negativos, especificação do fenótipo estudado, sistema selectivo usado (se apropriado); justificação da escolha das doses,
- método utilizado para contar as células viáveis e as transformadas;
- avaliação estatística,
- discussão dos resultados,
- interpretação dos resultados.

3.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

4. REFERÊNCIAS

Ver Introdução Geral, parte B.

B.22. **TESTE DE LETALIDADE DOMINANTE NO ROEDOR****1. MÉTODO****1.1. INTRODUÇÃO**

Ver Introdução Geral, parte B.

1.2. DEFINIÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Nenhuma.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

A letalidade dominante provoca a morte do embrião ou do feto. A indução de letalidade dominante por exposição a uma substância química indica que a substância afectou o tecido germinal da espécie estudada. Admite-se geralmente que a letalidade dominante é devida a uma lesão cromossómica (alterações estruturais e numéricas). No caso de os animais tratados serem fêmeas, a morte do embrião pode também ser devida a efeitos tóxicos.

Em geral, os machos são expostos à substância a testar e acasalados com fêmeas virgens não tratadas. Os diferentes estádios das células germinais podem ser testados separadamente utilizando-se períodos de acasalamento sequenciais. O aumento do número de implantes mortos por fêmea no grupo tratado em relação ao número de implantes mortos por fêmea no grupo de controlo reflecte as perdas após a implantação. As perdas antes da implantação podem ser calculadas por contagem dos corpos amarelos ou comparando o número total de implantes por fêmea no grupo tratado e no grupo de controlo. O efeito total de letalidade dominante é igual à soma das perdas antes e depois da implantação. O cálculo do efeito total da letalidade dominante baseia-se na comparação entre o número de implantes vivos por fêmea no grupo tratado e o registado no grupo de controlo. Uma diminuição do número dos implantes em determinados intervalos pode ser devida à destruição das células (isto é, de espermátocitos e/ou espermatogónias).

1.5. CRITÉRIOS QUALITATIVOS

Nenhum.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO*Preparativos*

Quando for possível, as substâncias a testar serão dissolvidas ou colocadas em suspensão numa solução salina isotónica. As substâncias químicas insolúveis na água podem ser dissolvidas ou colocadas em suspensão em veículos apropriados. O veículo utilizado não deverá interferir com a substância a testar nem deverá produzir efeitos tóxicos. Serão utilizadas preparações frescas da substância a testar.

*Condições experimentais**Via de administração*

A substância a testar deverá ser administrada uma única vez. Pode ser utilizado um programa de tratamento repetido em função das informações toxicológicas disponíveis. As vias de administração habituais são a intubação oral ou a injeção interperitoneal. Podem ser adequadas outras vias de administração.

Animais de experiência

Recomenda-se a utilização de ratos ou ratinhos. Repartem-se ao acaso entre os grupos tratados e de controlo animais jovens e são tendo atingido a plena maturidade sexual.

Número e sexo

Utiliza-se um número adequado de machos tratados, tendo em conta a frequência espontânea da característica biológica que está a ser avaliada. O número escolhido deverá basear-se numa sensibilidade de detecção e grau de significação preestabelecidos. Por exemplo, num teste típico, o número de machos escolhido para cada grupo de dose deverá ser suficientemente grande para obter 30 a 50 fêmeas grávidas por período de acasalamento.

Utilização de controlos negativos e positivos

Deverão ser incluídos em cada experiência controlos positivos e negativos (veículos), sendo geralmente simultâneos. Se experiências recentes efectuadas no mesmo laboratório tiverem dado resultados aceitáveis com os controlos positivos, estes resultados poderão ser utilizados em vez de um controlo positivo simultâneo. No que respeita às substâncias de controlo positivo deverá utilizar-se uma dose baixa apropriada (por exemplo MMS, intraperitonealmente, 10 mg/kg) para demonstrar a sensibilidade do teste.

Doses

Normalmente usam-se três níveis de dose diferentes. A dose máxima deverá produzir sinais de toxicidade ou reduzir a fecundidade dos animais tratados. Em alguns casos pode ser suficiente uma única dose elevada.

Ensaio-limite

As substâncias não tóxicas são testadas à razão de 5 g/kg no caso de administração única e de 1 g/kg/dia no caso de administração repetida.

Procedimento

Vários esquemas de tratamento são possíveis. O método mais frequente é o da administração única. Podem utilizar-se outros esquemas de tratamento.

Cada macho é acasalado sequencialmente com uma ou duas fêmeas virgens não tratadas, a intervalos de tempo apropriados após o tratamento. As fêmeas deverão ser deixadas com os machos durante pelo menos um ciclo completo do estro, ou até que o acasalamento seja comprovado pela presença de esperma na vagina ou pela presença de um rolhão vaginal.

O número de acasalamentos após tratamento é determinado pelo esquema de tratamento e deverá assegurar que sejam testados todos os estádios das células germinais tratadas.

As fêmeas são sacrificadas durante a segunda metade da gestação e o conteúdo do útero é examinado para determinação do número de implantes vivos e mortos. Os ovários podem ser examinados para determinar o número de corpos amarelos.

2.

RESULTADOS

Os resultados deverão ser apresentados em quadros, indicando o número de machos, o número de fêmeas grávidas bem como o número de fêmeas não grávidas. Os resultados de cada acasalamento, incluindo a identidade de cada macho e de cada fêmea são apresentados separadamente. Serão descritos para cada fêmea a semana de acasalamento e a dose recebida pelos machos, bem como a frequência dos implantes vivos e mortos.

O cálculo do efeito total de letalidade dominante baseia-se numa comparação do número de implantes vivos por fêmea no grupo tratado com o número de implantes vivos por fêmea no grupo de controlo. Compara-se a relação implantes vivos/mortos no grupo tratado com a mesma relação no grupo de controlo para indicação das perdas pós-implantação.

Se os resultados forem registados sob a forma de mortalidades precoces e mortalidades tardias, os quadros deverão tornar clara essa diferença. Se for avaliada a perda anterior à implantação, devem apresentar-se os resultados. Esta perda pode ser calculada como a discrepância entre o número de corpos amarelos e o número de implantes ou como a diminuição do número médio de implantes por fêmea em relação ao dos acasalamentos de controlo.

Os resultados serão avaliados com métodos estatísticos apropriados.

3. **RELATÓRIO**

3.1. RELATÓRIO DO TESTE

O relatório do teste deverá incluir as informações seguintes:

- espécies, estirpe, idade e peso dos animais utilizados, número de animais de cada sexo nos grupos tratados e de controlo,
- substância a testar, veículo, doses testadas e justificação da escolha das doses, controlos negativos e positivos, dados relativos à toxicidade,
- via de administração e esquema do tratamento,
- esquema de acasalamento,
- método utilizado para comprovar o acasalamento,
- momento do sacrifício,
- critérios de contagem dos efeitos de letalidade dominante,
- relação dose/resposta, se possível,
- avaliação estatística,
- discussão dos resultados,
- interpretação dos resultados.

3.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

4. **REFERÊNCIAS**

Ver Introdução Geral, parte B.

B.23. ENSAIO DE ABERRAÇÕES CROMOSSÓMICAS EM ESPERMATOGÓNIAS DE MAMÍFERO**1. MÉTODO**

O presente método é idêntico ao método OCDE TG 483 — Ensaio de aberração cromossómica em espermátogónias de mamífero (1997).

1.1. INTRODUÇÃO

O objectivo do ensaio *in vivo* de aberrações cromossómicas em espermátogónias de mamífero é identificar as substâncias que causam aberrações cromossómicas estruturais nas células espermátogónias de mamífero (1) (2) (3) (4) (5). As aberrações estruturais podem ser de dois tipos, cromossómicas ou cromatídicas. A maior parte dos mutagénicos químicos induzem aberrações cromatídicas, mas também podem ocorrer aberrações cromossómicas. O método não foi concebido para medir aberrações numéricas e não é normalmente utilizado com esse objectivo. As mutações cromossómicas e eventos relacionados causam diversas doenças genéticas humanas.

O presente ensaio mede eventos a nível dos cromossomas de células germinais espermátogónias e, por conseguinte, pressupõe-se que tenha um carácter de previsão da indução de mutações transmissíveis nas células germinais.

No presente ensaio utilizam-se normalmente roedores. O ensaio citogénico *in vivo* detecta aberrações cromossómicas nas mitoses das espermátogónias. O método não diz respeito a outros tipos de células.

Para detectar aberrações cromatídicas em células espermátogónias deve examinar-se a primeira divisão mitótica da célula após a exposição, antes que as eventuais lesões sejam perdidas por via de divisões celulares subsequentes. Para obtenção de informação adicional sobre as células germinais das espermátogónias expostas pode proceder-se à análise dos cromossomas durante a meiose, para detecção de aberrações cromossómicas na diacinese-metafase 1, momento em que as células expostas passam à forma de espermatócitos.

O presente ensaio *in vivo* foi concebido para investigar se os agentes mutagénicos das células somáticas também são activos para as células germinais. Além disso, o ensaio das espermátogónias é relevante para a avaliação dos riscos de mutagenicidade, na medida em que permite a consideração dos elementos do metabolismo *in vivo*, da farmacocinética e dos processos de reparação do ADN.

Nos testículos estão presentes diversas gerações de espermátogónias, com diferentes graus de sensibilidade ao tratamento químico. Logo, as aberrações detectadas representam uma resposta agregada das várias populações de células espermátogónias expostas, com predominância para as células espermátogónias mais diferenciadas, que são em maior número. Dependendo da sua posição no testículo, diferentes gerações de espermátogónias poderão ou não ser expostas à circulação geral, devido à barreira física e fisiológica constituída pelas células de Sertoli e à barreira sangue-testículo.

Se existirem provas de que nem a substância em estudo nem nenhum dos seus metabolitos reactivos entram em contacto com o tecido objectivo, o presente ensaio não é apropriado.

Ver também a parte B da Introdução Geral.

1.2. DEFINIÇÕES

Aberração cromatídica: lesão estrutural de um cromossoma expressa na ruptura, ou na ruptura seguida de união, de cromátídeos simples.

Aberração cromossómica: lesão estrutural de um cromossoma expressa na ruptura, ou na ruptura seguida de união, de ambos os cromátídeos no mesmo local.

Lacuna: lesão acromática de extensão inferior à largura de um cromátídeo e que determine um ligeiro desalinhamento do mesmo.

Aberração numérica: alteração do número de cromossomas relativamente ao número de cromossomas característico das células utilizadas.

Poliploidia: número de cromossomas múltiplo do número haplóide (n), mas diferente do diplóide (ou seja, $3n$, $4n$ e assim por diante).

Aberração estrutural: alteração da estrutura dos cromossomas detectável por exame microscópico das células em metafase sob a forma de supressão de segmentos, de alterações de partes da sequência ou da troca de segmentos num cromátídeo ou entre cromátídeos.

1.3. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Os animais são expostos à substância em estudo através de um modo de exposição apropriado, sendo sacrificados passado o tempo necessário após a exposição. Antes do sacrifício os animais são tratados com um agente de fixação da metafase (por exemplo, colchicina ou Colcemid®). Seguidamente são feitas preparações de cromossomas a partir das células germinais e, após serem coradas, as células em metafase são analisadas para detecção de aberrações cromossómicas.

1.4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.4.1. **Preparação**

1.4.1.1. *Seleção das espécies animais*

Geralmente, são utilizados ratos ou *hamsters* chineses machos, embora possam ser utilizados machos de qualquer outra espécie de mamífero apropriada. Devem ser utilizados animais adultos saudáveis jovens das raças de laboratório mais comuns. No início do estudo, a diferença de peso entre os animais deve ser mínima, não devendo exceder $\pm 20\%$ do peso médio de cada sexo.

1.4.1.2. *Condições de acomodação e alimentação*

Devem ser aplicadas as condições gerais referidas na Introdução Geral, parte B, embora o objectivo para a humidade deva ser de 50 %-60 %.

1.4.1.3. *Preparação dos animais*

Os animais machos adultos saudáveis jovens são distribuídos aleatoriamente pelos grupos de controlo e pelos grupos expostos. As gaiolas devem ser dispostas de modo a que eventuais efeitos devidos à respectiva colocação sejam minimizados. Os animais são identificados de forma inequívoca, devendo ser aclimatados às condições de laboratório durante pelo menos cinco dias antes de se iniciar o estudo.

1.4.1.4. *Preparação das doses*

As substâncias sólidas devem ser dissolvidas ou suspensas em solventes ou veículos adequados e, se necessário, diluídas antes de serem administradas aos animais. As substâncias líquidas podem ser adicionadas directamente aos sistemas em estudo e/ou diluídas antes de serem adicionadas às células. Devem ser utilizadas preparações frescas da substância em estudo, a menos que os dados de estabilidade demonstrem que o respectivo armazenamento não coloca problemas para o ensaio.

1.4.2. **Condições do ensaio**

1.4.2.1. *Solvente/veículo*

O solvente/veículo não deve reagir com a substância em estudo, não devendo produzir efeitos tóxicos nas doses utilizadas. Caso se utilizem solventes/veículos cujas propriedades não se encontrem totalmente elucidadas, devem fornecer-se dados que justifiquem a sua compatibilidade. Sempre que possível, recomenda-se a utilização de um solvente/veículo aquoso.

1.4.2.2. *Controlos*

Cada experiência deve incluir em paralelo controlos positivos e negativos (solvente/veículo). Com excepção da exposição à substância em estudo, todos os animais, incluindo os dos grupos de controlo, devem ser manuseados de forma idêntica.

Os controlos positivos devem produzir aberrações estruturais *in vivo* nas células espermatogónias quando administrados aos níveis de exposição a que se espera o surgimento de um aumento detectável em relação à linha de base.

A dose de controlo positiva a administrar deve ser escolhida de modo a que os seus efeitos sejam claros mas também a que as lâminas codificadas não sejam imediatamente identificadas pela pessoa que procede às leituras. É aceitável que o controlo positivo seja administrado por uma via diferente da substância em estudo e que só seja realizada uma amostra. A possibilidade de utilização de produtos químicos de uma classe relacionada para o controlo positivo deve ser considerada, quando existam. As substâncias de controlo positivo podem incluir, por exemplo:

Substância	Número CAS	Número EINECS
Ciclofosfamida	50-18-0	200-015-4
Ciclofosfamida monohidrato	6055-19-2	
Ciclohexilamina	108-91-8	203-629-0
Mitomicina C	50-07-7	200-008-6
Acrilamida monomérica	79-06-1	201-173-7
Trietilenomelamina	51-18-3	200-083-5

Para cada amostragem prevista devem ser incluídos controlos negativos expostos apenas ao solvente ou veículo, que serão sujeitos exactamente ao mesmo procedimento que os grupos expostos, a menos que existam dados históricos de controlo aceitáveis em relação à variabilidade de animal para animal e à frequência da ocorrência de células com aberrações cromossómicas. Além disso, devem ser também preparados controlos não expostos à substância em estudo, a menos que existam dados de controlo históricos ou publicados que mostrem que o solvente/veículo escolhido não induz qualquer efeito deletério ou mutagénico.

1.5. PROCEDIMENTO

1.5.1. Número de animais

Cada grupo exposto e de controlo deve incluir pelo menos cinco animais machos analisáveis.

1.5.2. Programação do tratamento

As substâncias de ensaio são preferivelmente administradas numa ou em duas doses (ou seja, numa só exposição ou em duas exposições). As substâncias poderão igualmente ser administradas numa dose dividida, ou seja, duas exposições no mesmo dia, separadas por apenas algumas horas, para facilitar a administração de grandes volumes. Qualquer outro regime de administração terá de ser cientificamente justificado.

No grupo exposto à dose mais elevada serão realizadas duas amostras após a exposição. Uma vez que a cinética celular poderá ser afectada pela substância em estudo, serão colhidas duas amostras, uma cerca de 24 horas após a exposição e outra cerca de 48 horas após a exposição. Para os restantes animais deve ser colhida uma amostra 1,5 ciclos celulares normais ou 24 horas após a exposição, a não ser nos casos em que se saiba que a utilização de outros tempos de amostragem é mais apropriada para a detecção dos efeitos (6).

Para além disso, poderão ser utilizados outros tempos de amostragem. Assim, por exemplo, no caso de produtos químicos que possam induzir *lagging* cromossómico ou efeitos independentes do factor S, poderá ser necessário fazer a amostragem mais cedo (1).

A necessidade ou não de uma repetição da exposição terá de ser avaliada caso a caso. Se o tratamento for repetido, os animais devem ser sacrificados 24 horas (1,5 ciclos celulares) após a última exposição. Quando necessário, poderão ser realizadas amostras adicionais.

Antes do sacrifício, os animais são injectados intraperitonealmente com uma dose apropriada de um agente de fixação da metafase (por exemplo, Colcemid® ou colchicina). As amostras serão colhidas a intervalos regulares a partir desse momento. Esse intervalo corresponde a aproximadamente 3-5 horas para os ratos e a 4-5 horas para os *hamsters* chineses.

1.5.3. Doses

Se for realizado um estudo para avaliação da gama de doses a administrar, por não estarem disponíveis dados apropriados, esse estudo deve ser executado no mesmo laboratório, utilizando as mesmas espécies, linha celular e regime de exposição a utilizar no estudo principal (7). Se existir toxicidade, serão utilizadas três doses diferentes para a primeira amostragem. Essas doses devem abranger uma gama de toxicidade máxima a quase nula. Na segunda amostragem só será necessário avaliar a dose mais elevada. A dose mais elevada é definida como a dose que produz sinais de toxicidade tais que indiquem que a utilização de doses superiores, com o mesmo regime de administração, produzirá mortalidade.

As substâncias com actividade biológica específica em doses baixas e não tóxicas (como acontece com as hormonas e agentes mitogénicos) poderão constituir uma excepção aos critérios de fixação da dose, devendo ser avaliadas numa base casuística. A dose mais elevada pode igualmente ser definida como uma dose que produz algumas indicações de toxicidade nas espermatogónias (por exemplo, redução da taxa de mitose das espermatogónias na primeira e segunda metáfase meióticas; essa redução não deve ser superior a 50 %).

1.5.4. Ensaio-limite

Se um ensaio com uma dose de pelo menos 2 000 mg/kg de peso corporal numa única exposição ou em duas exposições no mesmo dia não produzir nenhum efeito tóxico perceptível e se não for previsível a existência de toxicidade genética com base nos dados respeitantes a substâncias estruturalmente relacionadas, poderá não ser considerado necessário um estudo completo com utilização de três doses diferentes. A exposição prevista para o ser humano pode indicar a necessidade de se utilizarem doses mais elevadas nos ensaios-limite.

1.5.5. Administração das doses

A substância em estudo é geralmente administrada por sonda esofágica, utilizando um tubo estomacal ou cânula de intubação apropriada, ou por injeção intraperitoneal. Poderão ser aceites, mediante justificação, outras vias de administração. O volume máximo de líquido que pode ser administrado de cada vez por sonda esofágica ou por injeção depende também do tamanho do animal de ensaio, não devendo exceder 2 ml/100 g de peso corporal. A utilização de volumes mais elevados deve ser justificada. Com excepção das substâncias que causem irritação ou que sejam corrosivas, cujos efeitos serão normalmente agravados em concentrações mais altas, a variabilidade do volume de ensaio deve ser minimizada através do ajustamento das concentrações, por forma a garantir um volume constante para todas as doses a administrar.

1.5.6. Preparação dos cromossomas

Imediatamente após o sacrifício, devem ser preparadas suspensões celulares de um ou de ambos os testículos, que serão seguidamente expostas a uma solução hipotónica e fixadas. As células são depois esfregadas em lâminas e coradas.

1.5.7. Análise

Devem ser analisadas pelo menos 100 células em metáfase avançada de cada animal (ou seja, um mínimo de 500 metafases por grupo). Este número poderá ser menor quando se verificarem taxas elevadas de aberrações. Todas as lâminas, incluindo as dos controlos positivos e negativos, devem ser independentemente codificadas antes da análise microscópica. Uma vez que os procedimentos de preparação das lâminas dão frequentemente lugar à ruptura de uma certa proporção das células em metáfase, com perda de cromossomas, as células contabilizadas devem conter um número de centrómeros igual a $2n \pm 2$.

2. DADOS

2.1. TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Os dados respeitantes a cada animal devem ser apresentados num quadro. A unidade experimental é o animal. Para cada animal devem ser verificados o número de células com aberrações cromossómicas e o número de aberrações cromossómicas por célula. Os diferentes tipos de aberração cromossómica estrutural devem ser enumerados com os respectivos números e frequências para os grupos expostos à substância em estudo e de controlo. A ocorrência de lacunas é registada em separado e incluída no relatório, mas não é geralmente contabilizada para o cálculo da frequência total das aberrações.

Se para além das mitoses também se observarem meioses, a relação entre o número de mitoses e de metafases I ou II das espermatogónias deve ser determinada num total de 100 células em divisão por animal, para medição da citotoxicidade em todos os animais expostos à substância em estudo e do controlo negativo, de forma a poder estabelecer se existem efeitos citotóxicos. Se só se observarem mitoses, o índice mitótico deve ser calculado utilizando pelo menos 1 000 células de cada animal.

2.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Há diversos critérios para determinar um resultado positivo, como por exemplo um aumento do número de células com aberrações cromossómicas relacionado com a dose ou um claro aumento do número de células com aberrações num determinado grupo e numa determinada amostragem. Deve ser tomada em consideração, antes de mais, a importância biológica dos resultados. Como auxílio para a avaliação dos resultados dos ensaios, poderão ser utilizados métodos estatísticos (8), embora a significância estatística não deva ser o único elemento para a determinação de uma resposta positiva. Os resultados ambíguos devem ser esclarecidos através de estudos adicionais, de preferência com modificação das condições experimentais.

Uma substância cujos resultados não cumpram os critérios acima indicados no presente ensaio é considerada não mutagénica.

Embora a maioria de experiências tenha resultados claramente positivos ou negativos, em casos raros o conjunto dos dados não permitirá que se obtenha uma opinião inequívoca sobre a actividade da substância em estudo, podendo acontecer que os resultados continuem a ser ambíguos ou duvidosos independentemente do número de vezes que a experiência seja repetida.

Um resultado positivo no ensaio *in vitro* para aberrações cromossómicas em espermatogónias indica que a substância em estudo induz aberrações cromossómicas estruturais nas células germinais das espécies testadas. Um resultado negativo indica que, nas condições do ensaio, a substância em estudo não induz aberrações cromossómicas estruturais nas células germinais das espécies testadas.

Deve ser discutida a probabilidade de a substância em estudo ou os seus metabolitos alcançarem o sistema circulatório geral ou especificamente o tecido objectivo.

3. APRESENTAÇÃO DE RELATÓRIOS

RELATÓRIO DE ENSAIO

O relatório de ensaio deve incluir a seguinte informação:

Solvente/veículo:

- justificação para a escolha do veículo,
- solubilidade e estabilidade da substância em estudo no solvente/veículo, se conhecida.

Animais de ensaio:

- espécie/linha celular utilizada,
- número e idade dos animais,
- origem, condições de acomodação, alimentação, etc.,
- peso de cada animal no início do ensaio, incluindo a gama de pesos, a respectiva média e o desvio-padrão para cada grupo.

Condições de ensaio:

- resultados do estudo para definição da gama de doses, quando tenha sido realizado,
- justificação para a selecção das doses,
- justificação da via de administração escolhida,
- preparação da substância em estudo,
- modo de administração da substância em estudo,
- justificação do momento do sacrifício,
- conversão da concentração da substância em estudo (ppm) na alimentação/abeberação para a dose real (mg/kg peso corporal/dia), quando aplicável,
- qualidade dos alimentos e da água,
- descrição pormenorizada dos calendários de tratamento e amostragem,

- métodos de medição da toxicidade,
- substância utilizada para fixar a metafase, respectiva concentração e duração da exposição,
- métodos de preparação das lâminas,
- critérios de contabilização das aberrações,
- número de células analisadas por animal,
- critérios definidos para que o estudo seja considerado positivo, negativo ou não conclusivo.

Resultados:

- sinais de toxicidade,
- índice mitótico,
- proporção de células espermatogónias em mitose em relação às células em metafase I ou II,
- tipo e número de aberrações, discriminados para cada animal,
- número total de aberrações por grupo,
- número de células aberrantes por grupo,
- relação dose-resposta, quando seja possível de determinar,
- análise estatística, quando tenha sido realizada,
- dados relativos ao controlo negativo realizado em paralelo com o ensaio,
- dados históricos sobre o controlo negativo, com as respectivas gama, valor médio e o desvio-padrão,
- dados relativos ao controlo positivo realizado em paralelo com o ensaio,
- alterações da ploidia, quando observadas.

Discussão dos resultados.

Conclusões.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Adler, I.D., (1986). Clastogenic Potential in Mouse Spermatogonia of Chemical Mutagens Related to their Cell-Cycle Specifications. In: Genetic Toxicology of Environmental Chemicals, Part B: Genetic Effects and Applied Mutagenesis, Ramel, C., Lambert, B. and Magnusson, J. (Eds.) Liss, New York, p. 477-484.
- (2) Adler, I.D., (1984). Cytogenetic tests in Mammals. In: Mutagenicity Testing: a Practical Approach. Ed. S. Venitt and J.M. Parry. IRL Press, Oxford, Washington DC, p. 275-306.
- (3) Evans, E.P., Breckon, G. and Ford, C.E., (1964). An Air-Drying Method for Meiotic Preparations from Mammalian Testes. Cytogenetics and Cell Genetics, 3, 289-294.

- (4) Richold, M., Ashby, J., Chandley, A., Gatehouse, D.G. and Henderson, L., (1990). *In Vivo* Cytogenetic Assays, In: D.J. Kirkland (Ed.) Basic Mutagenicity Tests, UKEMS Recommended Procedures. UKEMS Subcommittee on Guidelines for Mutagenicity Testing. Report. Part I revised. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney, p. 115-141.
- (5) Yamamoto, K. and Kikuchi, Y., (1978). A New Method for Preparation of Mammalian Spermatogonial Chromosomes. *Mutation Res.*, 52, p. 207-209.
- (6) Adler, I.D., Shelby M.D., Bootman, J., Favor, J., Generoso, W., Pacchierotti, F., Shibuya, T. and Tanaka N., (1994). International Workshop on Standardisation of Genotoxicity Test Procedures. Summary Report of the Working Group on Mammalian Germ Cell Tests. *Mutation Res.*, 312, p. 313-318.
- (7) Fielder, R.J., Allen, J.A., Boobis, A.R., Botham, P.A., Doe, J., Esdaile, D.J., Gatehouse, D.G., Hodson-Walker, G., Morton, D.B., Kirkland, D.J. and Richold, M., (1992). Report of British Toxicology Society/UK Environmental Mutagen Society Working group: Dose setting in *In Vivo* Mutagenicity Assays. *Mutagenesis*, 7, p. 313-319.
- (8) Lovell, D.P., Anderson, D., Albanese, R., Amphlett, G.E., Clare, G., Ferguson, R., Richold, M., Papworth, D.G. and Savage, J.R.K., (1989). Statistical Analysis of *In Vivo* Cytogenetic Assays In: D.J. Kirkland (Ed.) Statistical Evaluation of Mutagenicity Test Data. UKEMS Sub-Committee on Guidelines for Mutagenicity Testing, report, Part III. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney, p. 184-232.

B.24. TESTE DAS MALHAS (SPOT-TEST) NO RATINHO

1. MÉTODO

1.1. INTRODUÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

1.2. DEFINIÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Nenhuma.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Este teste é uma prova *in vivo* efectuada no ratinho, cujos embriões em desenvolvimento são expostos à substância a testar. As células visadas dos embriões em desenvolvimento são os melanoblastos e os genes alvo são os responsáveis pela pigmentação do pêlo. Os embriões em desenvolvimento são heterozigóticos para alguns desses genes. Uma mutação ao nível do alelo dominante ou a perda do alelo dominante de um desses genes num melanoblasto (na sequência de vários fenómenos genéticos) traduz-se pela expressão do fenótipo recessivo nas células que dele descendem, do que resulta o aparecimento de uma malha de cor diferente no pêlo do ratinho. Conta-se assim o número de descendentes portadores de malhas (mutações) e a sua frequência é comparada com a frequência observada na descendência resultante do desenvolvimento de embriões tratados apenas com o solvente. O teste das malhas no ratinho (*spot test*) detecta as mutações somáticas presumíveis nas células fetais.

1.5. CRITÉRIOS QUALITATIVOS

Nenhum.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

Preparativos

Quando for possível as substâncias a testar são dissolvidas ou colocadas em suspensão numa solução salina isotónica. As substâncias insolúveis na água serão dissolvidas ou colocadas em suspensão em veículos apropriados. O veículo utilizado não deverá interferir com a substância a testar nem produzir efeitos tóxicos. Deverão utilizar-se soluções preparadas de fresco da substância a testar.

Animais de experiência

Ratinhos da estirpe T (*nonagouti*, a/a; *chinchilla*, pink eye, c^{ch}p/c^{ch}p; brown, b/b; dilute, short ear, d se/d se; piebald spotting, s/s) são acasalados seja com a estirpe HT (*pallid*, *nonagouti*, *brachypody*, pa a bp/pa a bp; *leaden fuzzy*, ln fz/ln fz; *pearl* pe/pe) ou com a C57 BL (*nonagouti*, a/a). Podem utilizar-se outros cruzamentos apropriados como entre a NMRI (*nonagouti*, a/a; albino, c/c) e a DBA (*nonagouti*, a/a; brown, b/b; dilute, d/d) na condição de produzirem uma descendência *nonagouti*.

Número e sexo

Deve tratar-se um número suficiente de fêmeas grávidas de forma a obter um número adequado de descendentes vivos para cada dose utilizada. A dimensão da amostra depende do número de malhas observadas nos ratinhos tratados bem como da importância dos dados dos controlos. Só se aceitará um resultado negativo se forem examinados pelo menos 300 descendentes das fêmeas tratadas com a dose máxima.

Controlos negativos e positivos

Deverá dispor-se de dados de controlo simultâneos respeitantes aos ratinhos tratados apenas com o veículo (controlos negativos). Dados de controlo de experiências anteriores provenientes do mesmo laboratório podem ser-lhes reunidos para se aumentar a sensibilidade do teste, no caso de estes serem homogêneos. Se a substância testada não se revelar mutagénica, deveriam estar disponíveis os dados obtidos recentemente pelo mesmo laboratório para um controlo positivo cuja acção mutagénica nesta prova seja conhecida.

Via de administração

As vias de administração habituais nas fêmeas grávidas são a intubação oral e a injeção intraperitoneal. Tratamentos por inalação ou outras vias de administração serão usados quando tal for apropriado.

Doses

Utilizam-se pelo menos dois níveis de dose, um dos quais provocando sinais de toxicidade ou reduzindo o tamanho das ninhadas. No caso de substâncias não tóxicas, recorrer-se-á a um tratamento com a dose máxima praticável.

Procedimento

Administra-se normalmente um tratamento único no dia 8, 9 ou 10 de gestação, sendo o dia 1 aquele em que se observe pela primeira vez a presença de um rolhão vaginal. Estes dias correspondem 7,25, 8,25 e 9,25 dias após a concepção. Podem ser efectuados tratamentos sucessivos durante esses dias.

Análise

Três a quatro semanas após o nascimento a descendência é codificada e examinada para se detectar a presença de malhas. Distinguem-se três classes de malhas:

- a) Malhas brancas situadas a menos de 5 mm da linha médio-ventral que se presuma resultarem de morte celular (WMVS);
- b) Malhas amarelas de tipo agouti, associadas aos mamilos, aos órgãos genitais, à garganta, às regiões axilar e inguinal bem como no meio da região frontal, que se presuma serem devidas a uma diferenciação defeituosa (MDS); e
- c) Malhas pigmentadas e brancas, distribuídas ao acaso no pêlo, que se presuma serem devidas a mutações somáticas (RS).

Contam-se as três classes mas apenas a última, isto é, a RS, tem relevância genética. Os problemas postos pela distinção entre as classes MDS e RS podem ser resolvidos examinando-se amostras de pêlos ao microscópio de fluorescência.

Serão anotadas as alterações macroscópicas evidentes observadas na descendência.

2. RESULTADOS

Os resultados são apresentados indicando o número total de crias examinadas e o número de crias apresentando uma ou várias malhas que se presuma serem devidas a uma mutação somática. Os resultados relativos aos animais tratados e aos controlos negativos são comparados por métodos apropriados. Os resultados são apresentados igualmente referindo-se a ninhada como unidade.

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO TESTE

O relatório do teste deverá incluir as seguintes informações:

- as estirpes utilizadas no cruzamento,
- o número de fêmeas grávidas nos grupos tratados e de controlo,
- o tamanho médio das ninhadas nos grupos tratados e de controlo na ocasião do nascimento e do desmame,
- as doses da substância a testar,
- o solvente utilizado,
- o dia da gestação em que se administrou o tratamento,

- a via de administração,
- o número total de crias observadas, bem como o número das que apresentavam malhas WMVS, MDS e RS nos grupos tratados e de controlo,
- alterações morfológicas macroscópicas,
- relação dose/efeito, se possível,
- avaliação estatística,
- discussão dos resultados,
- interpretação dos resultados.

3.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

4. REFERÊNCIAS

Ver Introdução Geral, parte B.

B.25. TRANSLOCAÇÃO HEREDITÁRIA NO RATINHO

1. MÉTODO

1.1. INTRODUÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

1.2. DEFINIÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Nenhuma.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

O teste de translocação hereditária no ratinho detecta alterações cromossômicas estruturais e numéricas nas células germinais de mamífero que são postas em evidência na descendência da primeira geração. Os tipos de alterações cromossômicas detectadas são as translocações recíprocas e, se for incluída a descendência do sexo feminino, a perda do cromossoma X. Os portadores de translocações e as fêmeas XO apresentam uma fertilidade reduzida, permitindo a selecção de uma descendência F_1 para análise citogenética. Alguns tipos de translocação provocam esterilidade total (X-autossoma e tipo c-t). As translocações são observadas por métodos citogenéticos nas células meióticas na diacinese-metafase I de indivíduos do sexo masculino, sejam machos F_1 ou filhos de fêmeas F_1 . As fêmeas XO são identificadas citogeneticamente pela presença de apenas 39 cromossomas nas mitoses da medula óssea.

1.5. CRITÉRIOS QUALITATIVOS

Nenhum.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

Preparativos

As substâncias a testar são dissolvidas numa solução salina isotónica. Se forem insolúveis na água serão dissolvidas ou colocadas em suspensão em veículos apropriados. Utilizam-se soluções preparadas de fresco da substância a testar. Se se utilizar um veículo para facilitar a administração este não deve interferir com a substância a testar nem produzir efeitos tóxicos.

Via de administração

As vias de administração são habitualmente a intubação oral ou a injeção intraperitoneal. Podem ser adequadas outras vias de administração.

Animais de experiência

Estas experiências são efectuadas em ratinhos para facilitar a reprodução e a verificação citológica. Não é requerida nenhuma estirpe específica. No entanto, o número médio de crias por ninhada da estirpe utilizada deverá ser superior a oito e ser relativamente constante.

Serão utilizados animais sãos tendo já atingido a maturidade sexual.

Número de animais

O número de animais necessários depende da frequência de translocações espontâneas bem como da taxa de indução mínima requerida para um resultado positivo.

O teste consiste habitualmente na análise da descendência masculina F_1 . Serão testados pelo menos 500 descendentes masculinos F_1 por cada dose. Se se incluir a descendência feminina F_1 , serão necessários 300 machos e 300 fêmeas.

Controlos negativos e positivos

Devem estar disponíveis dados de controlo adequados provenientes de provas realizadas simultaneamente ou de experiências anteriores. Quando existirem dados aceitáveis de controlos positivos provenientes de experiências efectuadas recentemente no mesmo laboratório, estes podem ser utilizados em vez de controlos positivos simultâneos.

Doses

É testada apenas uma dose, tratando-se habitualmente da dose máxima associada à produção de efeitos tóxicos mínimos mas não afectando o comportamento reprodutor nem a sobrevivência. Para estabelecer uma relação dose/resposta são necessárias duas doses adicionais, mais baixas. No caso de substâncias não tóxicas, deverá recorrer-se a uma exposição à dose máxima praticável.

Procedimento

Tratamento e acasalamento

São possíveis dois esquemas de tratamento. A administração única da substância a testar é o método mais frequente. A substância a testar pode também ser administrada sete dias por semana durante 35 dias. O número de acasalamentos depois do tratamento é determinado pelo esquema de tratamento e será tal que todos os estádios de células germinais sejam implicados. No fim do período de acasalamento as fêmeas são colocadas em gaiolas individuais. Quando as fêmeas parirem registar-se-ão a data, o número de crias da ninhada e o sexo das crias. Toda a descendência do sexo masculino é desmamada e toda a do sexo feminino afastada a não ser que esteja incluída na experiência.

Pesquisa dos heterozigóticos de translocação

É utilizado um de dois métodos disponíveis:

- análise da fertilidade da descendência F_1 e verificação ulterior de eventuais portadores de translocações por análise citogenética,
 - análise citogenética de todos os machos F_1 sem selecção prévia por verificação da fertilidade.
- a) Análise da fertilidade

A diminuição de fertilidade de um indivíduo F_1 pode ser determinada observando-se o número de crias da ninhada e/ou analisando o conteúdo uterino das fêmeas com que acasalou.

Deverão estabelecer-se critérios para determinação da fertilidade normal e diminuída da estirpe de ratinhos utilizada.

Observação do número de animais por ninhada: Os machos F_1 a testar são colocados em gaiolas individuais com fêmeas provenientes da mesma experiência ou da colónia. As gaiolas são inspeccionadas diariamente a partir do dia 18 após o acasalamento. O número de crias da ninhada e o sexo da descendência F_2 são registados na ocasião do nascimento, sendo as crias eliminadas em seguida. Se se testar a descendência do sexo feminino F_1 então os descendentes F_2 provenientes de ninhadas pequenas são conservados com vista a uma análise mais profunda. As fêmeas portadoras de uma translocação serão objecto de uma verificação por análise citogenética de uma translocação em qualquer dos seus descendentes machos. As fêmeas XO são identificadas pela alteração da razão macho/fêmea na sua descendência que passa de 1/1 para 1/2 machos/fêmeas. Num método sequencial os animais F_1 normais não serão objecto de outra verificação se a primeira ninhada F_2 atingir ou ultrapassar um valor normal preestabelecido, senão observar-se-á uma segunda ou uma terceira ninhada F_2 .

Os animais F_1 que não puderem ser classificados como normais após uma observação de até três ninhadas F_2 no máximo, serão submetidos seja a um novo controlo por análise do conteúdo uterino das fêmeas com que acasalaram, seja directamente a uma análise citogenética.

Análise do conteúdo uterino: A redução do número de crias por ninhada nos portadores de translocação é devida à morte de embriões, de modo que um grande número de implantes mortos indica a presença de uma translocação no animal submetido ao teste. Cada macho F_1 a testar é acasalado com duas ou três fêmeas. A concepção é confirmada pela inspecção matinal diária das fêmeas para detectar a presença de rolhão vaginal. As fêmeas são sacrificadas 14 a 16 dias mais tarde, registando-se o número de implantes vivos e mortos presentes nos seus úteros.

- b) Análise citogenética

As preparações de testículo são efectuadas pelo método de secagem ao ar. Os portadoras de translocações são identificados pela presença de configurações multivalentes na diacinese-metafase I nos espermatócitos primários. A observação de pelo menos duas células apresentando uma associação multivalente constitui a prova necessária de que o animal testado é portador de uma translocação.

Se não tiver sido efectuada nenhuma selecção por análise de fertilidade, todos os machos F_1 são submetidos a um exame citogenético. Devem ser analisadas ao microscópio um mínimo de 25 células em diacinese-metafase I por macho. É necessário o exame das metafases mitóticas nas espermatogónias ou na medula óssea, no caso dos machos tendo testículos pequenos ou apresentando uma paragem meiótica antes da diacinese ou no caso das fêmeas F_1 suspeitas de serem XO. A presença de um cromossoma anormalmente longo e/ou curto em alguma de 10 células é a prova de uma translocação particular acarretando a esterilidade do macho (tipo c-t). Algumas translocações X-autossoma provocando a esterilidade do macho podem apenas ser identificadas por uma análise de bandas de cromossomas mitóticos. A presença de 39 cromossomas em 10 mitoses por cada 10 é a prova de um estado XO numa fêmea.

2. RESULTADOS

Os resultados são apresentados sob a forma de quadros.

O número médio de crias por ninhada e a razão entre os sexos são registados à nascença e no desmame para cada período de acasalamento.

Quando da avaliação da fertilidade dos animais F_1 deverão apresentar-se o número médio de crias por ninhada das ninhadas resultantes de todos os acasalamentos normais bem como o número de crias individual das ninhadas provenientes de animais F_1 portadores de translocação. No que respeita à análise do conteúdo uterino serão anotados o número médio de implantes vivos e mortos resultantes de acasalamentos normais e o número de implantes vivos e mortos para cada acasalamento de animais portadores de translocação.

Quando da análise citogenética da diacinese-metafase I, serão registados os diferentes tipos de configurações multivalentes e o número total de células para cada portador de translocação.

Para os indivíduos F_1 estéreis serão indicados o número total de acasalamentos e a duração do período de acasalamento. Serão indicados o peso dos testículos bem como os pormenores da análise citogenética.

Para as fêmeas XO indicar-se-á o número de crias médio por ninhada, a razão entre os sexos na descendência F_2 , bem como os resultados da análise citogenética.

Se forem seleccionados eventuais portadores de translocação F_1 por testes de fertilidade os quadros deverão mencionar quantos deles foram confirmados como sendo heterozigóticos de translocação.

Serão apresentados os dados relativos aos controlos negativos bem como as experiências de controlo positivo.

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO TESTE

O relatório do teste deverá incluir as seguintes informações:

- estirpe de ratinho utilizada, idade dos animais, peso dos animais tratados,
- número de animais progenitores de cada sexo nos grupos tratados e de controlo,
- condições experimentais, descrição pormenorizada do tratamento, doses, solventes, esquema de acasalamento,
- número e sexo de crias por fêmea, número e sexo das crias mantidas para uma análise de translocação,
- momento e critérios da análise de translocação,
- número e descrição pormenorizada dos portadores de translocação, incluindo dados relativos à reprodução e ao conteúdo uterino, se possível,
- métodos citogenéticos e pormenores da análise microscópica, de preferência com fotografias,
- avaliação estatística,

- discussão dos resultados,
- interpretação dos resultados.

3.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

4. REFERÊNCIAS

Ver Introdução Geral, parte B.

B.26. **ENSAIO DE TOXICIDADE ORAL SUBCRÓNICA ESTUDO DE TOXICIDADE ORAL DE DOSE REPETIDA EM ROEDORES COM A DURAÇÃO DE 90 DIAS**

1. **MÉTODO**

O presente método de ensaio da toxicidade oral subcrónica é idêntico ao método OCDE TG 408 (1998).

1.1. **INTRODUÇÃO**

Ao avaliarem-se as características tóxicas de uma substância química poderá proceder-se à determinação da toxicidade oral subcrónica utilizando doses repetidas depois de se ter obtido informação inicial sobre a toxicidade a partir de ensaios de toxicidade aguda ou de dose repetida com a duração de 28 dias. O estudo de 90 dias permite obter informação sobre os perigos para a saúde susceptíveis de decorrer de uma exposição repetida ao longo de um período de tempo prolongado, abrangendo a maturação e o crescimento após o desmame e prolongando-se pela vida adulta. O estudo permitirá obter informação sobre os principais efeitos tóxicos, identificar os órgãos-alvo e a possibilidade de acumulação, bem como fazer uma estimativa de um nível de exposição sem efeitos adversos observados a utilizar na selecção dos níveis de administração em estudos crónicos e na determinação de critérios de segurança para a exposição no caso de seres humanos.

O método utilizado dá um maior destaque aos terminais neurológicos e permite formar uma ideia sobre os efeitos imunológicos e ao nível da reprodução. Deve salientar-se a necessidade de efectuar uma observação clínica pormenorizada dos animais, de modo a obter-se o máximo de informação possível. Este estudo deve permitir também identificar substâncias susceptíveis de causar efeitos neurotóxicos, imunológicos ou ao nível dos órgãos de reprodução, que poderão justificar uma investigação mais aprofundada.

Ver também a parte B da Introdução Geral.

1.2. **DEFINIÇÕES**

Dose: quantidade de substância administrada. A dose é expressa em termos de massa (g, mg) ou em termos da massa da substância em estudo por massa unitária do animal estudado (por exemplo, mg/kg), ou em termos de concentrações dietéticas constantes (ppm).

Dosagem: termo geral que abrange a dose administrada, bem como a frequência e duração da administração.

NOAEL: abreviatura de «*no observed adverse effect level*» («dose sem efeitos adversos observados»), que consiste na dose máxima ou no nível de exposição máximo que não produz efeitos adversos detectáveis no ensaio atribuíveis ao mesmo.

1.3. **PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO**

A substância em estudo é administrada diariamente por via oral, em doses crescentes (uma dose por lote), a vários lotes de animais de ensaio, durante um período de 90 dias. No decurso deste período, os animais são examinados em pormenor, com vista à detecção de quaisquer sinais de toxicidade. Efectua-se a autópsia dos animais que morrem ou são sacrificados durante o ensaio e, no final do mesmo, procede-se ao abate dos sobreviventes e à respectiva autópsia.

1.4. **DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO**

1.4.1. **Preparação dos animais**

Devem ser utilizados animais saudáveis que tenham sido aclimatados às condições laboratoriais durante pelo menos cinco dias e não tenham sido anteriormente submetidos a procedimentos experimentais. Os animais utilizados no estudo devem ser caracterizados quanto à espécie, estirpe, proveniência, sexo, peso e/ou idade. Os animais devem ser repartidos aleatoriamente pelos grupos de ensaio e de controlo. As gaiolas devem ser dispostas de modo a reduzir ao mínimo os eventuais efeitos devidos à respectiva colocação. Deve ser atribuído a cada animal um número de identificação diferente.

1.4.2. **Preparação das doses**

A substância em estudo é administrada por intermédio de uma sonda gástrica ou através da alimentação ou da água de beber. O método de administração oral depende do objectivo do ensaio, bem como das propriedades físico-químicas da substância em estudo.

Se necessário, a substância é dissolvida ou suspensa num veículo adequado. Sempre que possível, recomenda-se que se considere primeiramente a possibilidade de se utilizar uma solução ou suspensão aquosa; em segundo lugar, uma solução ou emulsão em óleo (nomeadamente óleo de milho); e, por último, uma solução noutro veículo. No caso de se utilizar um veículo não aquoso, devem conhecer-se as respectivas características de toxicidade. Deve também determinar-se a estabilidade da substância nas condições de administração.

1.4.3. Condições de ensaio

1.4.3.1. Animais a utilizar no ensaio

Embora possa recorrer-se a outros roedores, como por exemplo o ratinho, o rato constitui a espécie preferida. Devem utilizar-se animais adultos, jovens e saudáveis, de estirpes correntes de laboratório. As fêmeas devem ser nulíparas e não grávidas. A administração da substância deve ter início logo que possível após o desmame e, em qualquer caso, antes de os animais completarem nove semanas de idade. No início do estudo, a variação de massa dos animais deve ser mínima, não excedendo $\pm 20\%$ da massa média de cada sexo. Caso o estudo preceda um estudo da toxicidade crónica a longo prazo, é conveniente utilizar em ambos os casos animais da mesma estirpe e proveniência.

1.4.3.2. Número e sexo

Para cada dose devem utilizar-se, pelo menos, 20 animais (10 machos e 10 fêmeas). Caso se preveja o sacrifício de alguns animais durante o ensaio, o referido número deve ser acrescido do número de animais a sacrificar. Com base em conhecimentos anteriores da substância em estudo ou de um análogo próximo, deverá considerar-se a possibilidade de incluir um lote extra de 10 animais (cinco de cada sexo) no grupo de controlo e no grupo a que irá ser administrada a dose máxima, a fim de se observar, após o período de ensaio, a reversibilidade ou persistência de eventuais efeitos tóxicos. A duração deste período de observação deverá ser correctamente estabelecida tendo em conta os efeitos a observar.

1.4.3.3. Doses

Devem ser utilizadas pelo menos três doses e um controlo simultâneo, excepto nos casos em que seja realizado um ensaio-limite (ver 1.4.3.4). As doses poderão basear-se nos resultados de estudos de dose repetida ou de determinação da gama, e deverão levar em conta todos os dados toxicológicos e toxicocinéticos existentes para a substância em estudo ou substâncias afins. A dose máxima deve ser seleccionada com a finalidade de provocar toxicidade, mas não a morte nem um sofrimento excessivo, a não ser que a natureza físico-química ou os efeitos biológicos da substância em estudo determinem que a referida dose seja limitada. Deve seleccionar-se uma sequência decrescente de doses, com o objectivo de evidenciar uma correlação entre a dose administrada e a reacção observada, bem como a ausência de efeitos adversos associados à administração da dose mínima (NOAEL). A diferença óptima entre as doses consiste, frequentemente, num factor de 2 a 4; em muitos casos, a utilização de um quarto lote de ensaio é preferível ao recurso a intervalos de grande amplitude (por exemplo, superior a um factor de 6-10) entre as doses.

O grupo de controlo deve ser constituído por animais aos quais não é administrada a substância em estudo ou um grupo de controlo do veículo se for utilizado um veículo para administrar a substância em estudo. Com excepção da exposição à substância em estudo, os animais do grupo de controlo devem ser manuseados de forma idêntica aos outros animais. Caso se recorra a um veículo para a administração da substância em estudo, deve administrar-se o volume máximo do mesmo aos animais do lote de controlo. Se a substância em estudo for administrada através dos alimentos e causar um menor consumo alimentar, será vantajoso utilizar-se um grupo de controlo alimentado aos pares para se distinguir entre as reduções que se devem à palatabilidade e a alterações toxicológicas no modelo em estudo.

Deverão considerar-se as seguintes características do veículo e outros aditivos, conforme aplicável; efeitos ao nível da absorção, distribuição, metabolismo ou retenção da substância em estudo; efeitos nas propriedades químicas da substância em estudo susceptíveis de alterar as suas características tóxicas; e efeitos no consumo de alimentos ou água ou no estado nutricional dos animais.

1.4.3.4. Ensaio-limite

Sempre que um ensaio, realizado de acordo com o presente método, que utilize uma dose de pelo menos 1 000 mg/kg de massa corporal/dia, não produza efeitos tóxicos observáveis, ou se, tendo em conta dados referentes a substâncias estruturalmente afins, não se prevejam efeitos tóxicos, poderá não ser necessário efectuar um ensaio completo com três doses. Nestes casos, justifica-se a realização de um ensaio-limite, excepto se a exposição humana indicar a necessidade de recurso a uma dose superior.

1.5. PROCEDIMENTO

1.5.1. Administração das doses

A substância é administrada diariamente aos animais durante um período de 90 dias; em casos devidamente justificados, pode proceder-se à administração cinco dias por semana. A administração forçada deve efectuar-se numa dose única, por intermédio de uma sonda gástrica ou de uma cânula de intubação adequada. O volume máximo de líquido que pode administrar-se de cada vez depende das dimensões do animal. Esse volume não deve exceder 1 ml/100 g de massa corporal, excepto no caso de soluções aquosas, em que se poderá utilizar um

volume de 2 ml/100 g de massa corporal. Salvo no caso de substâncias corrosivas ou irritantes, cujos efeitos são, de modo geral, agravados em concentrações mais elevadas, devem minimizar-se as variações no volume mediante o ajustamento da concentração, de modo a assegurar um volume constante para todas as doses.

Caso a substância em estudo seja administrada através dos alimentos ou da água de beber, deve assegurar-se que as respectivas quantidades não perturbam o equilíbrio nutricional e hídrico normal. Se a substância for administrada com os alimentos, pode utilizar-se uma concentração alimentar constante, expressa em ppm, ou uma dose constante, expressa em relação à massa corporal dos animais; deve especificar-se a alternativa adoptada. No caso do recurso a uma sonda gástrica, a dose deve ser administrada diariamente à mesma hora e, se necessário, ajustada de modo a manter uma dose constante em relação à massa corporal do animal. Caso um ensaio de 90 dias preceda um estudo da toxicidade crónica a longo prazo, é conveniente utilizar uma dieta semelhante em ambos os ensaios.

1.5.2. Observações

O período de observação deve ser de, pelo menos, 90 dias. Os animais incluídos nos lotes extra destinados a observações subsequentes devem ser mantidos durante um período de tempo suficiente sem administração da substância em estudo de modo a detectar a persistência ou a recuperação dos efeitos tóxicos.

Deve efectuar-se um exame clínico pelo menos uma vez por dia, de preferência à mesma hora, em função do período previsto de efeitos mais agudos devidos à administração da substância, registando-se o estado de saúde dos animais. Todos os animais deverão ser examinados pelo menos duas vezes por dia, normalmente ao princípio e ao fim de cada dia, a fim de se identificarem sinais de morbilidade e mortalidade.

Deve proceder-se a um exame clínico aprofundado de todos os animais pelo menos uma vez antes da primeira exposição (de modo a permitir efectuar comparações para o mesmo indivíduo) e uma vez por semana após a mesma. O exame deve decorrer no exterior da gaiola, num recinto adequado e, de preferência, à mesma hora. As observações devem ser cuidadosamente registadas, de preferência por recurso a um sistema definido em pormenor pelo laboratório em causa. Deve procurar-se assegurar que as variações nas condições de observação sejam mínimas. Os sinais anotados devem incluir, nomeadamente, alterações na pele, no pêlo, nos olhos e nas mucosas, bem como a ocorrência de secreções, excreções ou actividade autónoma (como, por exemplo, lacrimação, erecção pilosa, alterações nas pupilas, respiração anormal). Devem também registar-se quaisquer alterações da atitude, postura e reacção à manipulação, além da ocorrência de movimentos clónicos ou tónicos e comportamentos estereotipados (por exemplo, actos de higiene repetitivos, movimentos circulares repetitivos) ou estranhos (automutilação, marcha para a retaguarda) (1).

Deve proceder-se a um exame oftalmológico, utilizando um oftalmoscópio ou equipamento equivalente adequado, antes de se iniciar a administração da substância em estudo e ao terminar o estudo, de preferência a todos os animais, ou pelo menos aos animais dos grupos de dose máxima e de controlo. Se forem detectadas alterações nos olhos, devem examinar-se todos os animais.

Na fase final do período de exposição, mas, em qualquer caso, nunca antes da 11.^a semana, deve proceder-se à avaliação da reactividade sensorial a estímulos de diferentes tipos (1) (por exemplo, estímulos auditivos, visuais e proprioceptivos) (2), (3), (4), avaliação da força de preensão (5) e avaliação da actividade motora (6). Para mais pormenores sobre os procedimentos que se podem utilizar, devem consultar-se as respectivas referências. No entanto, também se poderão adoptar procedimentos alternativos aos indicados nas referências.

As observações funcionais poderão ser omitidas na fase final do estudo quando existirem dados sobre observações funcionais de outros estudos e os exames clínicos realizados diariamente não revelarem quaisquer deficiências funcionais.

Excepcionalmente, podem omitir-se as observações funcionais no caso de lotes que apresentem sinais de toxicidade cuja intensidade seja susceptível de interferir de modo significativo com as mesmas.

1.5.2.1. *Massa corporal e consumo de alimentos/água*

Todos os animais devem ser pesados pelo menos uma vez por semana. O consumo de alimentos deve ser medido pelo menos uma vez por semana. Se a substância em estudo for administrada através da água de beber, deve também medir-se o consumo de água pelo menos uma vez por semana. O consumo de água também poderá ser levado em conta em estudos dietéticos ou de administração forçada em que esse consumo se possa alterar.

1.5.2.2. *Hematologia e bioquímica clínica*

Devem colher-se amostras de sangue de um local designado e, caso aplicável, essas amostras deverão ser armazenadas em condições adequadas. No final do período de estudo, serão colhidas amostras logo antes de se abaterem os animais ou como parte do procedimento de abate.

No final do ensaio e no caso de terem sido colhidas amostras de sangue intercalares, devem determinar-se os seguintes parâmetros hematológicos: hematócrito, concentração de hemoglobina, contagem de eritrócitos, contagem total e diferencial de leucócitos, contagem de plaquetas e medida do tempo/potencial de coagulação.

Devem também efectuar-se determinações bioquímicas destinadas a investigar os principais efeitos tóxicos sobre os tecidos, nomeadamente renal e hepático, com amostras de sangue de todos os animais, colhidas imediatamente antes do respectivo abate ou no âmbito do mesmo (com excepção dos animais encontrados moribundos ou abatidos no decurso do ensaio). Tal como no caso de estudos hematológicos, poderá efectuar-se uma recolha de amostras intercalares para efeito de análises bioquímicas clínicas. Recomenda-se que os animais sejam jejuados desde a véspera da colheita de sangue ⁽¹⁾. Os parâmetros a determinar no plasma ou no soro são os seguintes: sódio, potássio, glicose, colesterol total, ureia, creatinina, proteínas totais e albumina, além de, pelo menos, dois enzimas indicadores dos efeitos hepatocelulares (tais como a alanina-aminotransferase, a aspartato-aminotransferase, a fosfatase alcalina, a gama-glutamil transpeptidase e a sorbitol-desidrogenase). A determinação de outras enzimas de origem hepática ou diversa, bem como de ácidos biliares, poderá, em determinados casos, proporcionar informações úteis.

Em opção, podem realizar-se na última semana do ensaio as seguintes determinações na urina, recolhida de acordo com um programa previamente estabelecido: aparência, volume, osmolalidade ou gravidade específica, pH, proteínas, glicose e sangue/hematócitos.

Além disso, deve prever-se a pesquisa de marcadores séricos que forneçam indicações gerais sobre a lesão de tecidos. Caso as propriedades conhecidas da substância afectem, ou se preveja que possam afectar, perfis metabólicos conexos, devem realizar-se outras determinações, nomeadamente de cálcio, fosfatos, triglicéridos em jejum, hormonas específicas, meta-hemoglobina e colinesterase. A necessidade de efectuar tais determinações é estabelecida em função do tipo de substância em estudo ou de cada caso específico.

De um modo geral, deve adoptar-se uma abordagem flexível, em função das espécies e dos efeitos observados e/ou previstos da substância em causa.

Se os dados disponíveis relativos a ensaios anteriores se revelarem inadequados, haverá que decidir sobre a necessidade de se determinarem parâmetros hematológicos e bioquímicos antes de administrar a substância. De um modo geral, não se recomenda que estes dados sejam gerados antes de se iniciar a administração (7).

1.5.2.3. *Autópsia geral*

Todos os animais devem ser objecto de uma autópsia geral pormenorizada que inclua o exame da superfície exterior do corpo, dos orifícios e das cavidades craniana, torácica e abdominal, bem como do respectivo conteúdo. Devem remover-se de modo adequado as membranas aderentes a órgãos tais como o fígado, os rins, as glândulas supra-renais, os testículos, os epidídimos, o timo, o baço, o cérebro e o coração, cuja massa húmida deve ser determinada logo que possível após a dissecação, de modo a evitar a respectiva dessecação. Este procedimento aplica-se a todos os animais (excepto os que estiverem moribundos ou tiverem sido abatidos no decurso do ensaio).

Os órgãos e tecidos que se seguem devem ser conservados num meio de fixação adequado aos mesmos, bem como ao tipo de exame histopatológico subsequente: todos os tecidos que apresentem lesões evidentes, encéfalo (regiões representativas, nomeadamente cérebro, cerebelo e protuberância), espinal medula (a três níveis: cervical, médio-torácico e lombar), pituitária, tiróide, paratiróide, timo, esófago, glândulas salivares, estômago, intestino delgado e cólon (incluindo as placas de Peyer), fígado, rins, glândulas supra-renais, baço, coração, traqueia e pulmões (conservados por insuflação com fixador seguida de imersão), aorta, gónadas, útero, órgãos genitais acessórios, glândula mamária (nas fêmeas), próstata, bexiga, vesícula (ratinho), gânglios linfáticos (de preferência um gânglio situado na via de administração e um gânglio distante da mesma, de modo a investigar possíveis efeitos sistémicos), nervos periféricos (ciático ou tibial), de preferência na proximidade de músculos, e uma secção de medula óssea (ou, como alternativa, um aspirado de medula óssea recentemente montado), pele e olhos (se tiverem sido observadas alterações no exame oftalmológico). Em função das observações clínicas ou de natureza diversa efectuadas, poderá ser necessário examinar outros tecidos. Devem também conservar-se quaisquer órgãos susceptíveis de constituírem alvos da substância em estudo, em virtude das propriedades conhecidas da mesma.

1.5.2.4. *Histopatologia*

Deve proceder-se ao exame histopatológico dos órgãos e tecidos conservados dos animais dos grupos de controlo, bem como dos lotes sujeitos a doses elevadas. Caso o exame destes últimos revele alterações atribuíveis à substância em estudo, devem examinar-se também os animais de todos os lotes restantes.

Devem examinar-se todas as lesões importantes.

⁽¹⁾ Para a determinação de determinados parâmetros no soro e no plasma, nomeadamente a glicose, é preferível que os animais sejam jejuados desde a véspera, principalmente porque, não sendo jejuados, haverá inevitavelmente uma maior variabilidade que tenderá a encobrir os efeitos mais subtis e a tornar difícil a interpretação dos resultados. No entanto, por outro lado, o jejum desde a véspera poderá interferir no metabolismo geral dos animais, e, particularmente em estudos alimentares, poderá perturbar a exposição diária à substância em estudo. Se for adoptado o jejum desde a véspera, deverão efectuar-se determinações bioquímicas após a realização das observações funcionais do estudo.

Sempre que se recorra a um lote extra, deve proceder-se ao exame histopatológico dos tecidos e órgãos que tenham revelado alterações nos animais dos restantes lotes.

2. RESULTADOS E SUA APRESENTAÇÃO

2.1. DADOS

Devem registar-se os dados relativos a cada animal. Além disso, todos os dados devem ser resumidos num quadro, referindo-se, para cada lote de ensaio, o número de animais no início do ensaio, o número de animais encontrados mortos durante o ensaio ou abatidos por uma questão de humanidade, a hora da morte de cada animal, o número de animais que apresentam sinais de toxicidade, a descrição dos sinais de toxicidade observados, nomeadamente o tempo decorrido até à respectiva manifestação, bem como a sua duração e gravidade, o número de animais que apresentem lesões, o tipo de lesões e a percentagem de animais que apresentam cada tipo de lesões.

Caso aplicável, os resultados numéricos devem ser avaliados segundo um método estatístico adequado e geralmente aceite. Os métodos estatísticos e dados a serem analisados devem ser seleccionados durante a fase de concepção do estudo.

2.2. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deverá incluir as seguintes informações:

2.2.1. Substância em estudo:

- natureza física, pureza e propriedades físico-químicas,
- dados de identificação,
- veículo (caso aplicável): justificação da escolha de um veículo não aquoso.

2.2.2. Espécie submetida ao ensaio:

- espécie e estirpe utilizada,
- número, idade e sexo dos animais,
- origem, condições de acomodação, alimentação, etc.,
- massa de cada animal no início do ensaio.

2.2.3. Condições do ensaio:

- justificação das doses seleccionadas,
- pormenores relativos à preparação da substância em estudo e à sua eventual incorporação nos alimentos, nomeadamente a respectiva concentração, estabilidade e homogeneidade,
- modo de administração da substância em estudo,
- doses reais (mg/kg massa corporal/dia), e factor de conversão da concentração da substância em estudo na alimentação/abeberação (ppm) para a dose real, quando aplicável,
- pormenores relativos à qualidade dos alimentos e da água.

2.2.4. Resultados:

- massa corporal e respectivas alterações,

- consumo de alimentos e de água, se for caso disso,
- reacções tóxicas em função do sexo e da dose administrada, nomeadamente sinais de toxicidade,
- natureza, gravidade e duração dos sinais clínicos (reversíveis ou não),
- resultados do exame oftalmológico,
- dados relativos à actividade sensorial, força de preensão e actividade motora (caso existam),
- resultados da análise hematológica, acompanhados dos respectivos parâmetros de base,
- resultados da análise bioquímica, acompanhados dos respectivos parâmetros de base,
- massa corporal final, massa dos órgãos e relações massas dos órgãos/massa corporal,
- dados obtidos por autópsia,
- descrição pormenorizada dos resultados do exame histopatológico,
- dados de absorção, caso se encontrem disponíveis,
- tratamento estatístico dos resultados, se for caso disso.

Discussão dos resultados.

Conclusões.

3. REFERÊNCIAS

- (1) IPCS, (1986) Principles and Methods for the Assessment of Neurotoxicity Associated with Exposure to Chemicals. Environmental Health Criteria Document No 60.
- (2) Tupper, D.E., Wallace, R.B., (1980) Utility of the Neurologic Examination in Rats. *Acta Neurobiol. Exp.*, 40, p. 999-1003.
- (3) Gad, S.C., (1982) A Neuromuscular Screen for Use in Industrial Toxicology. *J.Toxicol. Environ. Health*, 9, p. 691-704.
- (4) Moser, V.C., Mc Daniel, K.M., Phillips, P.M., (1991) Rat Strain and Stock Comparisons Using a Functional Observational Battery: Baseline Values and Effects of Amitraz. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 108, p. 267-283.
- (5) Meyer O.A., Tilson H.A., Byrd W.C., Riley M.T., (1979) A Method for the Routine Assesment of Fore- and Hind-limb grip Strength of Rats and Mice. *Neurobehav. Toxicol.*, 1, p. 233-236.
- (6) Crofton K.M., Howard J.L., Moser V.C., Gill M.W., Reiter L.W., Tilson H.A., MacPhail R.C., (1991) Interlaboratory Comparison of Motor Activity Experiments: Implication for Neurotoxicological Assessments. *Neurotoxicol. Teratol.*, 13, p. 599-609.
- (7) Weingand K., Brown G., Hall R. *et al.*, (1996) Harmonisation of Animal Clinic Pathology Testing in Toxicity and Safety Studies, *Fundam. & Appl. Toxicol.*, 29, 198-201.

B.27. **ENSAIO DE TOXICIDADE ORAL SUBCRÓNICA ESTUDO DE TOXICIDADE ORAL DE DOSE REPETIDA EM ESPÉCIES NÃO ROEDORAS COM A DURAÇÃO DE 90 DIAS**

1. **MÉTODO**

O presente método de ensaio da toxicidade oral subcrónica é idêntico ao método OCDE TG 409 (1998).

1.1. **INTRODUÇÃO**

Ao avaliarem-se as características tóxicas de uma substância, poderá proceder-se à determinação da toxicidade oral subcrónica utilizando doses repetidas depois de se ter obtido informação inicial sobre a toxicidade em ensaios de toxicidade aguda ou de dose repetida com a duração de 28 dias. O estudo de 90 dias permite obter informação sobre os perigos para a saúde susceptíveis de decorrer de uma exposição repetida ao longo de um período de crescimento rápido e até ao início da vida adulta. O estudo permitirá obter informação sobre os principais efeitos tóxicos, identificar os órgãos-alvo e a possibilidade de acumulação, bem como fazer uma estimativa de um nível de exposição sem efeitos adversos observados a utilizar na selecção dos níveis de administração em estudos crónicos e na determinação de critérios de segurança para a exposição no caso de seres humanos.

O método de ensaio permite identificar, em espécies não roedoras, os efeitos adversos da exposição a substâncias químicas e deve ser utilizado apenas:

- nos casos em que os efeitos observados noutros estudos revelem a necessidade de clarificação/ caracterização numa segunda espécie não roedora, ou
- nos casos em que estudos toxicocinéticos revelem que uma determinada espécie não roedora é a escolha de animal laboratorial mais adequada, ou
- nos casos em que outras razões específicas justifiquem a utilização de uma espécie não roedora.

Ver também a parte B da Introdução Geral.

1.2. **DEFINIÇÕES**

Dose: quantidade de substância administrada. A dose é expressa em termos de massa (g, mg) ou em termos da massa da substância de ensaio por massa unitária do animal estudado (por exemplo, mg/kg), ou em termos de concentrações dietéticas constantes (ppm).

Dosagem: termo geral que abrange a dose administrada, bem como a frequência e duração da administração.

NOAEL: abreviatura de «no observed adverse effect level» («dose sem efeitos adversos observados»), que consiste na dose máxima ou no nível de exposição máximo que não produz efeitos adversos detectáveis no ensaio atribuíveis ao mesmo.

1.3. **PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO**

A substância em estudo é administrada diariamente por via oral, em doses crescentes (uma dose por lote), a vários lotes de animais de ensaio, durante um período de 90 dias. No decurso deste período os animais são examinados em pormenor, com vista à detecção de quaisquer sinais de toxicidade. Efectua-se a autópsia dos animais que morrem ou são sacrificados durante o ensaio e, no final do mesmo, procede-se ao abate dos sobreviventes e à respectiva autópsia.

1.4. **DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO**

1.4.1. **Seleção das espécies animais**

A espécie não roedora normalmente utilizada é o cão, que deve ser de uma raça específica: utiliza-se frequentemente o *beagle*. Poderão também utilizar-se outras espécies, como, por exemplo, suínos ou mini-suínos. Não se recomendam primatas, cuja utilização deve ser justificada. Devem utilizar-se animais jovens e saudáveis, e, no caso do cão, a administração deve iniciar-se de preferência aos 4-6 meses, o mais tardar aos 9 meses de idade. No caso de o estudo preceder um estudo da toxicidade crónica a longo prazo, deve utilizar-se a mesma espécie/raça em ambos os casos.

1.4.2. **Preparação dos animais**

Devem ser utilizados animais saudáveis que tenham sido aclimatados às condições laboratoriais e não tenham sido anteriormente submetidos a processos experimentais. A duração da aclimação dependerá da espécie seleccionada para o ensaio e da sua proveniência. Recomenda-se uma aclimação de pelo menos cinco dias para os cães ou suínos especificamente criados para o efeito a partir de uma colónia residente, e pelo menos duas semanas para suínos de proveniência externa. Os animais utilizados no estudo devem ser caracterizados quanto à espécie, estirpe, proveniência, sexo, peso e/ou idade. Os animais devem ser repartidos aleatoriamente pelos grupos de ensaio e de controlo. As gaiolas devem ser dispostas de modo a que eventuais efeitos devidos à respectiva colocação sejam minimizados. Deve atribuir-se a cada animal um número de identificação diferente.

1.4.3. **Preparação das doses**

A substância em estudo pode ser administrada através dos alimentos ou da água de beber, por sonda gástrica ou em cápsulas. O método de administração oral depende do objectivo do ensaio, bem como das propriedades físico-químicas da substância em estudo.

Se necessário, a substância é dissolvida ou suspensa num veículo adequado. Sempre que possível, recomenda-se que se considere primeiramente a possibilidade de se utilizar uma solução ou suspensão aquosa; em segundo lugar, uma solução ou emulsão em óleo (nomeadamente óleo de milho); e, por último, uma solução noutro veículo. No caso de se utilizar um veículo não aquoso, devem conhecer-se as respectivas características de toxicidade. Deve também determinar-se a estabilidade da substância nas condições de administração.

1.5. **PROCEDIMENTOS**

1.5.1. **Número e sexo dos animais**

Para cada dose devem utilizar-se, pelo menos, oito animais (quatro machos e quatro fêmeas). Caso se preveja o sacrifício de alguns animais durante o ensaio, o referido número deve ser acrescido do número de animais a sacrificar. O número de animais no final do estudo deve ser suficiente para permitir uma avaliação válida dos efeitos tóxicos. Com base em conhecimentos anteriores da substância em estudo ou de um análogo próximo, deverá considerar-se a possibilidade de incluir um lote extra de oito animais (quatro por sexo) no grupo de controlo e no grupo a que irá ser administrada a dose máxima, a fim de se observar, após o período de ensaio, a reversibilidade ou persistência de eventuais efeitos tóxicos. A duração deste período de observação deverá ser correctamente estabelecida tendo em conta os efeitos a observar.

1.5.2. **Dosagem**

Devem ser utilizadas pelo menos três doses e um controlo simultâneo, excepto nos casos em que seja realizado um ensaio-limite (ver 1.5.3). As doses poderão basear-se nos resultados de estudos de dose repetida ou de determinação da gama e deverão levar em conta todos os dados toxicológicos e toxicocinéticos existentes relativos ao composto em estudo ou a substâncias afins. A dose máxima deve ser seleccionada com a finalidade de provocar toxicidade, mas não a morte nem um sofrimento excessivo, a não ser que a natureza físico-química ou os efeitos biológicos da substância em estudo determinem que a referida dose seja limitada. Deve seleccionar-se uma sequência decrescente de doses, com o objectivo de evidenciar uma correlação entre a dose administrada e a reacção observada, bem como a ausência de efeitos adversos associados à administração da dose mínima (NOAEL). A diferença óptima entre as doses consiste, frequentemente, num factor de 2 a 4; em muitos casos, a utilização de um quarto lote de ensaio é preferível ao recurso a intervalos de grande amplitude (por exemplo, superior a um factor de 6-10) entre as doses.

O grupo de controlo deve ser constituído por animais aos quais não é administrada a substância em estudo ou um grupo de controlo do veículo se for utilizado um veículo para administrar a substância em estudo. Com excepção da exposição à substância em estudo, os animais do grupo de controlo devem ser manuseados de forma idêntica aos outros animais. Caso se recorra a um veículo para a administração da substância em estudo, deve administrar-se o volume máximo do mesmo aos animais do lote de controlo. Se a substância em estudo for administrada através dos alimentos provocando um menor consumo alimentar, será vantajoso utilizar-se um grupo de controlo alimentado aos pares para se distinguir entre as reduções que se devem à palatabilidade e a alterações toxicológicas no modelo em estudo.

Deverão considerar-se as seguintes características do veículo e outros aditivos, conforme aplicável: efeitos ao nível da absorção, distribuição, metabolismo ou retenção da substância em estudo; efeitos nas propriedades químicas da substância em estudo susceptíveis de alterar as suas características tóxicas; e efeitos no consumo de alimentos ou água ou no estado nutricional dos animais.

1.5.3. **Ensaio-limite**

Sempre que um ensaio, realizado de acordo com o presente método, que utilize uma dose de, pelo menos, 1 000 mg/kg de massa corporal/dia, não produza efeitos tóxicos observáveis, ou se, tendo em conta dados referentes a substâncias estruturalmente afins, não se prevejam efeitos tóxicos, poderá não ser necessário efectuar um ensaio completo com três doses. Nestes casos justifica-se a realização de um ensaio-limite, excepto se a exposição humana indicar a necessidade de recurso a uma dose superior.

1.5.4. Administração das doses

A substância é administrada diariamente aos animais durante um período de 90 dias; em casos devidamente justificados, pode proceder-se à administração cinco dias por semana. A administração forçada deve efectuar-se numa dose única, por intermédio de uma sonda gástrica ou de uma cânula de intubação adequada. O volume máximo de líquido que pode administrar-se de cada vez depende das dimensões do animal. Normalmente, deve administrar-se o mínimo volume possível. Salvo no caso de substâncias corrosivas ou irritantes, cujos efeitos são, de modo geral, agravados em concentrações mais elevadas, devem minimizar-se as variações no volume mediante o ajustamento da concentração, de modo a assegurar um volume constante para todas as doses.

Caso a substância em estudo seja administrada através dos alimentos ou da água de beber, deve assegurar-se que as respectivas quantidades não perturbam o equilíbrio nutricional e hídrico normal. Se a substância for administrada com os alimentos, pode utilizar-se uma concentração alimentar constante, expressa em ppm, ou uma dose constante, expressa em relação à massa corporal dos animais; deve especificar-se a alternativa adoptada. No caso de uma substância administrada por meio de uma sonda gástrica ou cápsula, a dose deve ser administrada diariamente à mesma hora e, se necessário, ajustada de modo a manter uma dose constante em relação à massa corporal do animal. Caso um ensaio de 90 dias preceda um estudo da toxicidade crónica a longo prazo, é conveniente utilizar uma dieta semelhante em ambos os ensaios.

1.5.5. Observações

O período de observação deve ser de, pelo menos, 90 dias. Os animais incluídos nos lotes extra destinados a observações subsequentes devem ser mantidos em observação durante um período de tempo suficiente sem administração da substância em estudo, de modo a detectar a persistência ou a recuperação dos efeitos tóxicos.

Deve efectuar-se um exame clínico pelo menos uma vez por dia, de preferência à mesma hora, em função do período previsto de efeitos mais agudos devidos à administração da substância, registando-se o estado de saúde dos animais. Todos os animais deverão ser examinados pelo menos duas vezes por dia, normalmente ao princípio e ao fim de cada dia, a fim de se identificarem sinais de morbilidade e mortalidade.

Deve proceder-se a um exame clínico aprofundado de todos os animais pelo menos uma vez antes da primeira exposição (de modo a permitir efectuar comparações com o mesmo indivíduo) e uma vez por semana após a mesma. Estas observações devem ser feitas, caso possível, fora da gaiola, num recinto adequado, e de preferência sempre às mesmas horas. Deve procurar-se assegurar que as variações nas condições de observação sejam mínimas. Os sinais de toxicidade devem ser cuidadosamente registados, incluindo a hora a que se manifestaram, a sua intensidade e duração. As observações devem incluir alterações na pele, no pêlo, nos olhos e nas mucosas, bem como a ocorrência de secreções, excreções ou actividade autónoma (como, por exemplo, lacrimação, erecção pilosa, alterações nas pupilas, respiração anormal). Devem também registar-se quaisquer alterações da atitude, postura e reacção à manipulação, além da ocorrência de movimentos clónicos ou tónicos e comportamentos estereotipados (por exemplo, actos de higiene repetitivos, movimentos circulares repetitivos) ou estranhos.

Deve proceder-se a um exame oftalmológico, utilizando um oftalmoscópio ou equipamento equivalente adequado, antes de se iniciar a administração da substância em estudo e ao terminar o estudo, de preferência a todos os animais, mas pelo menos, aos animais dos grupos de dose máxima e de controlo. Se forem detectadas alterações nos olhos atribuíveis à substância em estudo, devem examinar-se todos os animais.

1.5.5.1. Massa corporal e consumo de alimentos/água

Todos os animais devem ser pesados pelo menos uma vez por semana. O consumo de alimentos deve ser medido pelo menos uma vez por semana. Se a substância em estudo for administrada através da água de beber, deve também medir-se o consumo de água pelo menos uma vez por semana. O consumo de água também poderá ser levado em conta em estudos dietéticos ou de administração forçada em que esse consumo se possa alterar.

1.5.5.2. Hematologia e bioquímica clínica

Devem colher-se amostras de sangue de um local designado e, caso aplicável, essas amostras deverão ser armazenadas em condições adequadas. No final do período de estudo serão colhidas amostras mesmo antes de se abaterem os animais ou como parte do procedimento de abate.

No início do estudo e, posteriormente, a intervalos mensais ou a meio do período do estudo, e, por último, no final do estudo, devem determinar-se os seguintes parâmetros hematológicos: hematócrito, concentração de hemoglobina, contagem de eritrócitos, contagem total e diferencial de leucócitos, contagem de plaquetas e medida do potencial de coagulação, como, por exemplo, tempo de coagulação, tempo de protrombina, ou tempo do tromboplastina.

Devem também efectuar-se determinações bioquímicas destinadas a investigar os principais efeitos tóxicos sobre os tecidos, nomeadamente renal e hepático, com amostras de sangue de todos os animais, colhidas no início do estudo, em seguida mensalmente ou a meio do período do estudo, e, por último, no final do período do estudo. As áreas de ensaio que devem ser consideradas são o equilíbrio electrolítico, o metabolismo dos hidratos de carbono, e as funções hepática e renal. A selecção de ensaios específicos será feita com base em observações do modo de acção da substância em estudo. Recomenda-se que os animais sejam jejuados durante

um período de tempo adequado para a respectiva espécie antes de se proceder à colheita de amostras de sangue. Sugere-se que sejam determinados os seguintes parâmetros: cálcio, fósforo, cloreto, sódio, potássio, glicose em jejum, alanina-aminotransferase, aspartato-aminotransferase, ornitina descarboxilase, gama-glutamil-transpeptidase, nitrogénio ureico, albumina, creatinina no sangue, bilirrubina total e proteína sérica total.

Devem efectuar-se determinações na urina pelo menos no início, seguidamente a meio, e, por último, no final do estudo de acordo com um programa previamente estabelecido. As determinações a efectuar na urina devem incluir a aparência, volume, osmolalidade ou gravidade específica, pH, proteínas, glicose e sangue/hematócitos. Caso necessário, poderão utilizar-se outros parâmetros a fim de alargar o estudo de um ou mais efeitos observados.

Além disso, deve prever-se a pesquisa de marcadores séricos que forneçam indicações gerais sobre a lesão de tecidos. Entre outras determinações que poderão ser necessárias para uma avaliação toxicológica adequada referem-se análises de lípidos, hormonas, equilíbrio ácidos/bases, meta-hemoglobina e inibição da colinesterase. Caso necessário, poderão efectuar-se outras determinações bioquímicas para alargar o estudo dos efeitos observados. A necessidade de efectuar tais determinações é estabelecida em função do tipo de substância em estudo ou de cada caso específico.

De um modo geral, deve adoptar-se uma abordagem flexível, em função das espécies e dos efeitos observados e/ou previstos da substância em causa.

1.5.5.3. *Autópsia geral*

Todos os animais devem ser objecto de uma autópsia geral pormenorizada que inclua o exame da superfície exterior do corpo, dos orifícios e das cavidades craniana, torácica e abdominal, bem como do respectivo conteúdo. Devem remover-se de modo adequado as membranas aderentes a órgãos tais como o fígado (com a vesícula), os rins, as glândulas supra-renais, os testículos, os epidídimos, os ovários, o útero, a tiróide (com paratiróides), o timo, o baço, o cérebro e o coração, cuja massa húmida deve ser determinada logo que possível após a dissecação, de modo a evitar a respectiva dessecação. Este procedimento aplica-se a todos os animais (excepto os que estiverem moribundos ou tiverem sido abatidos no decurso do ensaio).

Os órgãos e tecidos que se seguem devem ser conservados num meio de fixação adequado aos mesmos, bem como ao tipo de exame histopatológico subsequente: todos os tecidos que apresentem lesões evidentes, encéfalo (regiões representativas, nomeadamente cérebro, cerebelo e protuberância), espinal medula (a três níveis: cervical, médio-torácico e lombar), pituitária, olhos, tiróide, paratiróide, timo, esófago, glândulas salivares, estômago, intestino delgado e cólon (incluindo as placas de Peyer), fígado, vesícula, pâncreas, rins, glândulas supra-renais, baço, coração, timo, tiróide, traqueia e pulmões, aorta, gónadas, útero, órgãos genitais acessórios, glândula mamária feminina, bexiga, gânglios linfáticos (de preferência um gânglio situado na via de administração e um gânglio distante da mesma, de modo a investigar possíveis efeitos sistémicos), nervos periféricos (ciático ou tibial), de preferência na proximidade de músculos, e uma secção de medula óssea (ou, como alternativa, um aspirado de medula óssea recentemente montado) e pele. Em função das observações clínicas ou de natureza diversa efectuadas, poderá ser necessário examinar outros tecidos. Devem também conservar-se quaisquer órgãos susceptíveis de constituírem alvos da substância em estudo, em virtude das propriedades conhecidas da mesma.

1.5.5.4. *Histopatologia*

Deve proceder-se ao exame histopatológico dos órgãos e tecidos conservados dos animais dos grupos de controlo, bem como dos lotes sujeitos a doses elevadas. Caso o exame destes últimos revele alterações atribuíveis à substância em estudo, devem examinar-se também os animais de todos os lotes restantes.

Devem examinar-se todas as lesões importantes.

Sempre que se recorra a um lote extra, deve proceder-se ao exame histopatológico dos tecidos e órgãos que tenham revelado alterações nos animais dos restantes lotes.

2. **RESULTADOS E SUA APRESENTAÇÃO**

2.1. **DADOS**

Devem registar-se os dados relativos a cada animal. Além disso, todos os dados devem ser resumidos num quadro, referindo-se, para cada lote de ensaio, o número de animais no início do ensaio, o número de animais encontrados mortos durante o ensaio ou abatidos por uma questão de humanidade, a hora da morte de cada animal, o número de animais que apresentam sinais de toxicidade, a descrição dos sinais de toxicidade observados, nomeadamente o tempo decorrido até à respectiva manifestação, bem como a sua duração e gravidade, o número de animais que apresentem lesões, o tipo de lesões e a percentagem de animais que apresentam cada tipo de lesões.

Caso aplicável, os resultados numéricos devem ser avaliados segundo um método estatístico adequado e geralmente aceite. Os métodos estatísticos e dados a serem analisados devem ser seleccionados durante a fase de concepção do estudo.

2.2. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deverá incluir as seguintes informações:

2.2.1. **Substância em estudo:**

- natureza física, pureza e propriedades físico-químicas,
- dados de identificação
- veículo (caso aplicável): justificação da escolha de um veículo não aquoso.

2.2.2. **Espécie submetida ao ensaio:**

- espécie e a estirpe utilizada,
- número, idade e sexo dos animais,
- origem, condições de acomodação, alimentação, etc.,
- massa de cada animal no início do ensaio.

2.2.3. **Condições do ensaio:**

- justificação para a selecção das doses,
- pormenores relativos à preparação da substância em estudo e à sua eventual incorporação nos alimentos, nomeadamente a respectiva concentração, estabilidade e homogeneidade,
- modo de administração da substância em estudo,
- doses reais (mg/kg massa corporal/dia) e factor de conversão da concentração da substância em estudo na alimentação/abeberação (ppm) para a dose real, quando aplicável,
- pormenores relativos à qualidade dos alimentos e da água.

2.2.4. **Resultados:**

- massa corporal e respectivas alterações,
- consumo de alimentos e de água, se for caso disso,
- reacções tóxicas em função do sexo e da dose administrada, nomeadamente sinais de toxicidade,
- natureza, gravidade e duração dos sinais clínicos (reversíveis ou não),
- exame oftalmológico,
- resultados da análise hematológica, acompanhados dos respectivos parâmetros de base,
- resultados da análise bioquímica, acompanhados dos respectivos parâmetros de base,
- massa corporal final, massa dos órgãos e relações massas dos órgãos/massa corporal,
- dados obtidos por autópsia,

- descrição pormenorizada dos resultados do exame histopatológico,
- dados de absorção, caso se encontrem disponíveis,
- eventual tratamento estatístico dos resultados.

Discussão dos resultados.

Conclusões.

B.28. TOXICIDADE DÉRMICA SUBCRÓNICA: TESTE DE DOSE REPETIDA POR VIA DÉRMICA, A NOVENTA DIAS, EM ROEDORES**1. MÉTODO****1.1. INTRODUÇÃO**

Ver Introdução Geral, parte B.

1.2. DEFINIÇÕES

Ver Introdução Geral, parte B.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Nenhuma.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

A substância a testar é aplicada diariamente em doses graduais na pele dos animais dos vários grupos, à razão de uma dose por grupo por um período de noventa dias. Durante o período de aplicação, os animais são observados diariamente para se detectarem manifestações de toxicidade. Os animais que morrem durante a experiência são autopsiados e no fim da experiência os animais sobreviventes são igualmente autopsiados.

1.5. CRITÉRIOS QUALITATIVOS

Nenhum.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO**Preparativos**

Os animais são mantidos nas condições de alojamento e de alimentação da experiência, durante pelo menos cinco dias antes do teste. Antes de começar o teste os animais jovens e sãos são distribuídos ao acaso pelos grupos submetidos ao tratamento e de controlo. Pouco tempo antes de se iniciar o ensaio rapam-se os pêlos da região dorsal dos animais. Se se recorrer à tosquia esta deverá ser efectuada mais ou menos 24 horas antes do teste. Normalmente é necessário repetir estas operações todas as semanas devendo tomar-se muito cuidado para não lesar a pele. A área destinada à aplicação da substância a testar não poderá ser inferior a 10 % da superfície corporal. O peso do animal entrará em linha de conta na decisão da zona a expor e da dimensão da superfície a tratar. Sempre que se testam substâncias sólidas, que podem ser pulverizadas se necessário, a substância a testar deve ser humedecida com água ou com um veículo apropriado para garantir um bom contacto com a pele. As substâncias a testar líquidas são geralmente usadas sem ser diluídas. Procede-se a uma aplicação diária durante cinco a sete dias por semana.

*Condições experimentais**Animais de experiência*

Podem ser utilizados o rato, o coelho ou a cobaia; também podem usar-se outras espécies, sendo necessário justificar o seu emprego. No início da experiência a diferença de peso entre os animais não poderá ultrapassar $\pm 20\%$ do peso médio. Se um estudo dérmico subcrónico constituir a fase preliminar de um estudo a longo prazo, deve utilizar-se a mesma espécie e estirpe em ambos os estudos.

Número e sexo

Para cada dose serão utilizados pelo menos 20 animais (10 fêmeas e 10 machos) de pele sã. As fêmeas deverão ser nulíparas e não grávidas. Se for previsível sacrificar alguns animais durante a experiência devem acrescentar-se ao número inicial o número de animais que se prevê sacrificar. Para além destes poderá haver um grupo-satélite de 20 animais (10 de cada sexo) tratado com a dose mais elevada, durante 90 dias e observado quanto à reversibilidade, à persistência ou aparecimento tardio de efeitos tóxicos durante 28 dias após o tratamento.

Doses

São necessárias pelo menos três doses diferentes com um controlo ou um veículo de controlo se for usado um veículo. O período de exposição deverá no mínimo ser de seis horas por dia. A substância a testar será aplicada diariamente à mesma hora e a quantidade a administrar será ajustada regularmente (semanalmente ou bissemanalmente), de modo a manter-se constante relativamente ao peso corporal do animal. Os animais do grupo de controlo serão tratados da mesma maneira que os animais dos grupos de experiência com excepção da aplicação da substância a testar. Se se utilizar um veículo para facilitar a administração, este será administrado ao grupo de controlo da mesma forma que aos grupos tratados, devendo a dose corresponder à do grupo tratado com a dose mais elevada. A dose mais elevada será determinada de forma a produzir efeitos tóxicos mas nunca, ou raramente, a morte do animal; a dose mais baixa não deverá produzir quaisquer efeitos tóxicos. Se se dispuser de informação sobre a exposição humana, a dose mais baixa deverá exceder esse valor. O ideal seria a dose intermédia produzir o efeito tóxico mínimo observável. Se se utilizarem várias doses intermédias a diferença entre elas será calculada de forma a conseguir-se uma gradação dos efeitos tóxicos. Nos grupos das doses mais baixa e intermédia a incidência de mortalidade deverá ser baixa para permitir uma avaliação significativa dos resultados.

Se a aplicação da substância a testar provocar uma grave irritação cutânea, deverão reduzir-se as concentrações, o que poderá originar uma diminuição ou até um desaparecimento dos outros efeitos tóxicos da dose mais elevada. Se as lesões cutâneas forem muito graves, pode tornar-se necessário interromper a experiência e recomencê-la com concentrações mais fracas.

Teste-limite

Se já tiver sido efectuada uma experiência preliminar com uma dose de 1 000 mg/kg ou com uma dose mais elevada em função da possibilidade de uma exposição humana conhecida, que não tenha provocado quaisquer efeitos tóxicos, será inútil prosseguir a experiência.

Período de observação

Os animais da experiência serão observados diariamente para detectar manifestações de toxicidade. Serão registados o momento da morte e o momento do aparecimento e desaparecimento das manifestações de toxicidade.

Procedimento

Os animais serão colocados em gaiolas individuais. Em condições ideais a substância a testar será administrada aos animais sete dias por semana durante um período de 90 dias.

Os animais de todos os grupos-satélite que forem objecto de observações complementares serão mantidos vivos durante mais 28 dias, sem tratamento, para se detectar a recuperação ou a persistência dos efeitos tóxicos. O tempo de exposição será de seis horas por dia.

A substância a testar será aplicada uniformemente numa área equivalente a 10 % da superfície total do corpo. No caso de substâncias altamente tóxicas, a superfície a utilizar poderá ser menor mas a camada da substância deverá ser o mais fina e uniforme possível.

Durante a exposição a substância a testar é mantida em contacto com a pele por meio de uma gaze porosa e de um adesivo antialérgico. A superfície tratada será por sua vez convenientemente coberta de maneira a manter no seu lugar a gaze e a substância a testar, e a evitar que os animais ingiram a dita substância. Podem utilizar-se aparelhos de contenção, para evitar a ingestão da substância, mas não se recomenda a imobilização completa.

No fim do tempo de exposição, se possível, é necessário eliminar todos os resíduos da substância com água ou por meio de qualquer outro método adequado de limpeza da pele.

Os animais serão observados diariamente, sendo sempre registadas as manifestações de toxicidade assim como o momento do seu aparecimento, a sua intensidade e duração. Durante o período de cativeiro observar-se-ão as modificações do pêlo e da pele, dos olhos e das mucosas, do aparelho respiratório, aparelho circulatório, do sistema nervoso autónomo e central, assim como da actividade somatomotora e do comportamento. O consumo alimentar e o peso dos animais serão determinados semanalmente. Devem observar-se regularmente os animais a fim de se evitarem perdas por canibalismo, por autólise dos tecidos ou por condições impróprias de alojamento. No fim da experiência todos os animais sobreviventes dos grupos tratados não satélites serão autopsiados. Os animais moribundos serão imediatamente retirados e autopsiados.

Os exames que a seguir se enunciam são normalmente feitos a todos os animais incluindo os controlos:

- a) Um exame oftalmológico usando um oftalmoscópio ou equipamento adequado equivalente deve ser feito antes da administração da substância a testar e no fim da experiência, de preferência a todos os animais, ou pelo menos nos grupos da dose mais elevada e de controlo. Se se detectarem alterações oculares devem examinar-se todos os animais;

- b) Um exame hematológico será efectuado no fim da experiência compreendendo os seguintes testes: hematócrito, concentração de hemoglobina, contagem de eritrócitos, contagem de leucócitos, fórmula leucocitária, bem como um estudo da coagulação e tempo de coagulação, tempo de protrombina, tempo de tromboplastina, ou contagem de plaquetas;
- c) A determinação de dados bioquímicos no sangue deve ser feita no fim da experiência. Apresentam um interesse geral para todos os estudos a avaliação do equilíbrio electrolítico, do metabolismo dos hidratos de carbono, da função hepática e renal. A escolha dos testes específicos será influenciada por observações relativas ao modo de acção da substância a testar. Sugere-se o doseamento do cálcio, fósforo, cloretos, sódio, potássio, glicose em jejum (o período de jejum dependerá da espécie), transaminase glutâmico-pirúvica sérica ⁽¹⁾, transaminase glutâmico-oxaloacética sérica ⁽²⁾, ornitina-descarboxilase, gama-glutamil transpeptidase, azoto ureico, albumina, creatinina plasmática, bilirubina total e as proteínas séricas totais. As outras análises eventualmente necessárias a uma avaliação toxicológica adequada incluem análises de lípidos, hormonas, equilíbrio ácido-básico, methemoglobina, e actividade colinesterásica. Podem efectuar-se outras análises bioquímicas clínicas, se necessário, para aprofundar o estudo dos efeitos observados;
- d) Um exame regular da urina não é necessário; este exame só é indicado em caso de efeitos tóxicos prováveis ou manifestos.

Se a informação de estudos anteriores não for apropriada deverá considerar-se a necessidade de determinação dos parâmetros hematológicos e bioquímicos clínicos antes de começar a experiência.

Autópsia

Todos os animais serão submetidos a uma autópsia geral que incluirá o exame da superfície exterior do corpo, de todos os orifícios e das cavidades craniana, torácica e abdominal e respectivos conteúdos. O fígado, os rins, as glândulas supra-renais e os testículos serão pesados, ainda húmidos, o mais rapidamente possível depois da dissecação, para se evitar a perda de líquidos por evaporação. Os seguintes órgãos e tecidos deverão ser conservados num meio adequado na eventualidade de um exame histopatológico ulterior: todas as lesões macroscópicas, encéfalo, incluindo cortes da medula/protuberância, córtex cerebeloso e córtex cerebral, hipófise, tiróideia, paratiróideia, todo o tecido tímico, (traqueia), pulmões, coração, aorta, glândulas salivares, fígado, baço, rins, supra-renais, pâncreas, gónadas, útero, órgãos genitais anexos, vesícula biliar (quando presente), esófago, estômago, duodeno, jejuno, íleo, cego, cólon, recto, bexiga, gânglio linfático representativo, (glândula mamária na fêmea), (musculatura da coxa), nervo periférico, (olhos), (esterno com medula óssea), (fémur, incluindo superfície articular), (medula espinhal a três níveis: cervical, mediotorácica e lombar) e (glândulas lacrimais). Os tecidos mencionados entre parênteses só serão examinados em caso de aparecimento de sinais de toxicidade ou de compromisso do órgão-alvo.

Exame histopatológico

- a) Serão objecto de um exame histopatológico completo a pele normal e a pele tratada, assim como os órgãos e tecidos de todos os animais de controlo e do grupo exposto à dose mais elevada;
- b) Todas as lesões macroscópicas serão examinadas;
- c) Os órgãos-alvo dos animais pertencentes aos grupos tratados com outras doses deverão ser examinados;
- d) Se se utilizarem ratos, os pulmões dos animais dos grupos expostos às doses baixa e intermédia serão submetidos a um exame histopatológico para se detectar qualquer sinal de infecção uma vez que isso nos permite uma avaliação conveniente do estado de saúde dos animais. Outros exames histopatológicos sistemáticos podem não se justificar para os animais desses grupos mas devem ser sempre efectuados aos órgãos que apresentem lesões no grupo tratado com a dose mais elevada;
- e) Quando se usar um grupo satélite, será feito um exame histopatológico aos tecidos e órgãos que apresentem sinais de toxicidade nos grupos tratados.

2. RESULTADOS

Os resultados devem ser resumidos sob a forma de quadros, indicando, para cada grupo de experiência, o número de animais no início desta, o número de animais apresentando lesões, o tipo de lesões e a percentagem de animais apresentando cada tipo de lesão. Os resultados serão avaliados por meio de um método estatístico apropriado. Pode utilizar-se qualquer método estatístico reconhecido.

⁽¹⁾ Conhecida actualmente por transaminase da alanina.

⁽²⁾ Conhecida actualmente por transaminase do aspartato.

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO TESTE

O relatório do teste deverá incluir as seguintes informações:

- espécie, estirpe, origem, condições do meio ambiente, dieta,
- doses (compreendendo veículo, se utilizado) e concentrações,
- resposta tóxica por sexo e por dose,
- dose sem efeitos, se possível,
- momento de morte durante a experiência ou indicação dos animais sobreviventes no fim da experiência,
- descrição dos efeitos tóxicos ou outros,
- momento da observação de qualquer manifestação anormal e sua evolução,
- dados relativos à alimentação e peso do animal,
- observações oftalmológicas,
- exames hematológicos efectuados e seus resultados,
- testes bioquímicos clínicos utilizados e seus resultados (incluindo resultados das análises de urina),
- resultados da autópsia,
- descrição pormenorizada de todas as observações histopatológicas,
- tratamento estatístico dos resultados, se possível,
- discussão dos resultados,
- interpretação dos resultados,
- condições experimentais.

3.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

4. REFERÊNCIAS

Ver Introdução Geral, parte B.

B.29. **TOXICIDADE SUBCRÓNICA POR INALAÇÃO: TESTE DE DOSE REPETIDA POR INALAÇÃO, A NOVENTA DIAS, EM ROEDORES**

1. **MÉTODO**

1.1. **INTRODUÇÃO**

Ver Introdução Geral, parte B.

1.2. **DEFINIÇÕES**

Ver Introdução Geral, parte B.

1.3. **SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA**

Nenhuma.

1.4. **PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO**

Vários grupos de animais de experiência são expostos diariamente, por um período determinado, a concentrações diferentes de substâncias a testar à razão de uma concentração por grupo durante um período de 90 dias. Quando se utiliza um veículo para ajudar a obter uma concentração apropriada da substância a testar na atmosfera deve usar-se um grupo-controlo para o veículo. Durante o período de administração os animais são observados diariamente para se detectarem as manifestações de toxicidade. Os animais que morrem durante a experiência são autopsiados e no fim da experiência os animais sobreviventes são igualmente autopsiados.

1.5. **CRITÉRIOS QUALITATIVOS**

Nenhum.

1.6. **DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO**

Preparativos

Os animais são mantidos nas condições de alojamento e de alimentação da experiência pelo menos durante cinco dias antes do teste. Antes de começar o teste os animais jovens e sãos são distribuídos ao acaso pelos grupos submetidos ao tratamento e de controlo. Se necessário pode adicionar-se um veículo à substância a testar para se conseguir uma concentração apropriada desta na atmosfera; se um veículo ou outros aditivos forem usados para facilitar a administração devem ser comprovadamente não tóxicos. Pode recorrer-se a dados anteriormente publicados se necessário.

Condições experimentais

Animais de experiência

Salvo contra-indicação, a espécie preferida é o rato. Devem utilizar-se animais jovens e sãos de uma estirpe corrente de laboratório. No início da experiência a diferença de peso entre os animais não poderá ultrapassar $\pm 20\%$ do peso médio. Se um estudo subcrónico por inalação constituir a fase preliminar de um estudo a longo prazo, deve utilizar-se a mesma espécie e estirpe em ambos os estudos.

Número e sexo

Para cada concentração de exposição serão utilizados pelo menos 20 animais (10 fêmeas e 10 machos). As fêmeas deverão ser nulíparas e não grávidas. Se for previsível sacrificar alguns animais durante a experiência devem acrescentar-se ao número inicial o número de animais que se prevê sacrificar. Para além destes, um grupo-satélite de 20 animais (10 de cada sexo) poderá ser exposto à concentração mais elevada durante 90 dias e ser observado quanto à reversibilidade, à persistência ou ao aparecimento tardio de efeitos tóxicos durante 28 dias após o tratamento.

Concentração de exposição

São utilizadas pelo menos três concentrações, com um grupo-controlo ou, se necessário, um grupo-controlo para o veículo quando este for utilizado (correspondendo a concentração do veículo ao nível de exposição mais elevada). Os animais do grupo de controlo são tratados da mesma forma que os dos grupos da experiência com excepção da inalação da substância a testar. A concentração mais elevada deverá produzir efeitos tóxicos mas nenhuma ou poucas mortes. Se se dispuser de informação sobre a exposição humana a concentração mais baixa será superior a esse valor. O ideal seria a concentração intermédia produzir o efeito tóxico mínimo observável. Se se utilizarem várias concentrações intermédias a diferença entre elas será calculada de forma a conseguir-se uma gradação dos efeitos tóxicos. Nos grupos de concentração baixa e intermédia, assim como nos grupos controlo, a incidência de mortalidade deverá ser baixa para permitir uma avaliação significativa dos resultados.

Tempo de exposição

A duração diária do tempo de exposição deverá ser de seis horas após se obterem as concentrações dentro da câmara de exposição. Podem utilizar-se outros tempos de exposição para satisfazer outras exigências específicas.

Equipamento

Os animais serão expostos à substância a testar por meio de um dispositivo de inalação concebido de forma a conseguir-se um fluxo de ar contínuo que assegurará pelo menos 12 renovações de ar por hora e garanta uma concentração de oxigénio apropriada e uma distribuição uniforme do produto a testar no ar. Se se utilizar uma câmara, esta será concebida de maneira a obter-se uma superlotação mínima dos animais e uma exposição máxima à substância a testar. Como regra geral para se assegurar a estabilidade da atmosfera na câmara o volume total dos animais de experiência não deve ultrapassar 5 % do volume da câmara de ensaio. Pode também recorrer-se a um sistema de exposição oro-nasal, de cabeça apenas ou do corpo inteiro em câmara individual; os dois primeiros tipos de exposição permitem reduzir a penetração por outras vias.

Período de observação

Os animais da experiência deverão ser observados diariamente para se detectarem manifestações de toxicidade durante todo o período de exposição e de recuperação. Serão registados o momento da morte assim como o do aparecimento e desaparecimento das manifestações de toxicidade.

Procedimento

Os animais são expostos diariamente à substância a testar à razão de cinco a sete dias por semana, durante um período de 90 dias. Os animais dos grupos-satélite destinados às observações complementares serão mantidos vivos durante mais 28 dias, sem tratamento, para se detectar a recuperação ou a persistência dos efeitos tóxicos. A temperatura a que se efectua o teste deverá ser mantida a 22 ± 3 °C. Em condições óptimas, a humidade relativa deverá ser mantida entre 30 % e 70 % mas, nalguns casos, isto pode ser impraticável (por exemplo, testes com aerossol). Durante a exposição, os animais não receberão alimentos nem água.

Deverá ser usado um sistema de inalação dinâmico com um dispositivo apropriado de controlo analítico da concentração. Recomenda-se a realização de um teste preliminar para se determinarem as concentrações apropriadas de exposição. O débito de ar deverá assegurar concentrações homogêneas em toda a câmara de exposição. O sistema deverá permitir a obtenção de condições estáveis o mais rapidamente possível.

Deverá ser feita a medição ou monitorização de:

- a) Débito de ar (permanentemente);
- b) A concentração real da substância a testar medida na zona de respiração. Durante o período de exposição diária a concentração não variará além de ± 15 % do valor médio. Contudo, no caso de poeiras e aerossóis esta precisão pode não ser possível e uma variação maior poderá então ser aceitável. Durante toda a duração da experiência, as concentrações diárias serão mantidas o mais constantes possível. Durante a elaboração do sistema gerador proceder-se-á a uma análise granulométrica das partículas para determinar a estabilidade das concentrações do aerossol. Durante a exposição far-se-ão análises o mais frequentemente possível para determinação da estabilidade da repartição granulométrica;
- c) Temperatura e humidade;
- d) Durante e após a exposição às concentrações são feitas observações e registadas sistematicamente; são feitas fichas individuais para cada animal. Todos os animais serão observados diariamente e as manifestações de toxicidade, assim como o momento do seu aparecimento, a sua intensidade e a sua duração serão registados. Durante o período de cativeiro é conveniente observar, nomeadamente, as modificações da pele e do pêlo, dos olhos, das mucosas, do aparelho respiratório, do aparelho circulatório, do sistema nervoso autónomo e central, da actividade somatomotora e do comportamento. O consumo alimentar e o peso dos animais serão determinados todas as semanas. É necessário observar regularmente os animais a fim de se assegurar que não há perdas por canibalismo, autólise dos tecidos ou

condições impróprias de alojamento. No fim da experiência, todos os animais sobreviventes são autopsiados. Durante a experiência, os animais moribundos serão imediatamente retirados e autopsiados.

Os exames que a seguir se enunciam são normalmente feitos a todos os animais, incluindo os de controlo:

- a) Um exame oftalmológico usando um oftalmoscópio ou equipamento adequado equivalente deve ser feito antes da exposição à substância a testar e no fim da experiência de preferência a todos os animais ou pelo menos nos grupos da dose mais elevada e de controlo. Se se detectarem alterações oculares devem examinar-se todos os animais;
- b) Um exame hematológico será efectuado no fim da experiência, compreendendo os seguintes testes: hematócrito, concentração de hemoglobina, contagem de eritrócitos, contagem de leucócitos, fórmula leucocitária, bem como um estudo da coagulação pelo tempo de coagulação, tempo de protombina, tempo de tromboplastina ou contagem de plaquetas;
- c) A determinação de dados bioquímicos no sangue deve ser feita no fim da experiência. Apresentam um interesse geral para todos os estudos a avaliação do equilíbrio electrolítico, do metabolismo dos hidratos de carbono, da função hepática e renal. A escolha dos testes específicos será influenciada por observações relativas ao modo de acção da substância a testar. Sugere-se o doseamento do cálcio, fósforo, cloretos, sódio, potássio, glicose em jejum (o período de jejum dependerá da espécie), transaminase glutâmico-pirúvica séria ⁽¹⁾, transaminase glutâmico-oxaloacética séria ⁽²⁾, ornitina-descarboxilase, gama-glutamil transpeptidase, azoto ureico, albumina, creatinina plasmática, bilirubina total e as proteínas séricas totais. As outras análises eventualmente necessárias a uma avaliação toxicológica adequada incluem análises de lípidos, hormonas, equilíbrio ácido-básico, methemoglobina e actividade colinesterásica. Podem efectuar-se outras análises bioquímicas clínicas, se necessário, para aprofundar o estudo dos efeitos observados;
- d) Um exame regular da urina não é necessário; este exame só é indicado em caso de efeitos tóxicos prováveis ou manifestos.

Se a informação de estudos anteriores não for apropriada deverá considerar-se a necessidade de determinação dos parâmetros hematológicos e bioquímicos clínicos antes de começar a experiência.

Autópsia

Todos os animais são submetidos a uma autópsia geral que incluirá o exame da superfície exterior do corpo, de todos os orifícios e das cavidades cranianas, torácicas e abdominal e respectivos conteúdos. O fígado, os rins, as glândulas supra-renais e os testículos serão pesados, ainda húmidos, o mais rapidamente possível depois da dissecação para evitar a perda de líquidos por evaporação. Os seguintes órgãos e tecidos deverão ser conservados num meio adequado na eventualidade de exames histopatológicos ulteriores: todas as lesões macroscópicas, pulmões — que devem ser retirados inteiros, pesados e tratados com um fixador apropriado que permita conservar a estrutura pulmonar (considera-se a perfusão com o fixador como um método eficaz), tecidos da naso-faringe, encéfalo — incluindo cortes da medula/da protuberância, córtex cerebeloso e córtex cerebral, hipófise, tiróideia/paratiróideia, todo o tecido tímico, traqueia, pulmões, coração, aorta, glândulas salivares, fígado, baço, rins glândulas supra-renais, pâncreas, gónadas, útero, (órgãos genitais anexos), (pele), vesícula biliar (quando presente), esófago, estômago, duodeno, jejuno, íleo, cego, cólon, recto, bexiga, gânglio linfático representativo (glândula mamária na fêmea), (musculatura da coxa), nervo periférico, (olhos), esterno com medula óssea, (fémur, incluindo superfície articular), (medula espinhal a três níveis: cervical, mediotorácica e lombar). Os tecidos mencionados entre parêntesis só serão observados em caso de aparecimento de sinais de toxicidade ou de compromisso do órgão-alvo.

Exame histopatológico

- a) Serão objecto de um exame histopatológico completo as vias respiratórias, assim como os órgãos e tecidos de todos os animais do grupo de controlo e dos do grupo exposto à dose mais elevada;
- b) Todas as lesões macroscópicas serão examinadas;
- c) Os órgãos-alvo dos animais pertencentes a outros grupos tratados serão examinados;
- d) Os pulmões dos animais pertencentes aos grupos expostos às doses baixa e intermédia serão submetidos a um exame histopatológico, uma vez que isto nos permite uma avaliação conveniente do estado de saúde dos animais. Outros exames histopatológicos sistemáticos podem não se justificar para os animais desses grupos mas devem ser sempre efectuados aos órgãos que apresentem lesões no grupo tratado com

⁽¹⁾ Conhecida actualmente por transaminase da alanina.

⁽²⁾ Conhecida actualmente por transaminase do aspartato.

a dose mais elevada;

- e) Quando se usa um grupo-satélite, será praticado um exame histopatológico aos tecidos e órgãos que apresentem sinais de toxicidade nos grupos tratados.

2. RESULTADOS

Os resultados serão resumidos sob a forma de quadros indicando, para cada grupo de teste o número de animais no início, o número de animais atingidos por lesões, o tipo de lesões e a percentagem de animais apresentando cada tipo de lesão. Os resultados serão avaliados com um método estatístico apropriado. Pode ser utilizado qualquer método estatístico reconhecido.

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO TESTE

O relatório do teste deve incluir as seguintes informações:

- espécie, estirpe, origem, condições do meio ambiente, dieta,
- condições experimentais:

Descrição do aparelho de exposição: incluindo concepção, tipo, dimensões, fonte de ar, sistema gerador de partículas e de aerossóis, método de condicionamento de ar, tratamento do ar evacuado e, no caso disso, o método de acondicionamento dos animais na câmara de ensaio. O equipamento utilizado para medir a temperatura, a humidade e, se necessário, a estabilidade das concentrações do aerossol ou da granulometria das partículas será descrito.

Dados relativos à exposição: estes dados serão apresentados sob a forma de um quadro indicando os valores médios assim como uma medida de variação (por exemplo, desvio-padrão) e dirão respeito:

- a) Aos débitos de ar através do dispositivo de inalação;
- b) À temperatura e à humidade do ar;
- c) Às concentrações nominais (quantidade total da substância a testar introduzida no dispositivo de inalação dividida pelo volume de ar);
- d) À natureza do veículo, se utilizado;
- e) Às concentrações reais na zona de respiração;
- f) Às dimensões médias das partículas, se necessário,
- resposta tóxica por seco e por concentração,
- dose sem efeito, se possível,
- momento da morte durante a experiência ou indicação dos animais sobreviventes,
- descrição dos efeitos tóxicos ou outros,
- momento de observação de qualquer manifestação anormal e sua evolução,
- dados relativos à alimentação e peso corporal,

- observações oftalmológicas,
- exames hematológicos efectuados e seus resultados,
- testes bioquímicos clínicos utilizados e seus resultados (incluindo análises de urina),
- resultados da autópsia,
- descrição pormenorizada de todas as observações histopatológicas,
- tratamento estatístico dos resultados, se apropriado,
- discussão dos resultados,
- interpretação dos resultados.

3.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

4. REFERÊNCIAS

Ver Introdução Geral, parte B.

B.30. TESTE DE TOXICIDADE CRÓNICA

1. MÉTODO

1.1. INTRODUÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

1.2. DEFINIÇÕES

Ver Introdução Geral, parte B.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Nenhuma.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

A substância a testar é administrada normalmente sete dias por semana, pela via apropriada a vários grupos de animais de experiência à razão de uma dose por cada grupo durante a maior parte da sua vida. Durante e depois da exposição à substância a testar, observam-se diariamente os animais de experiência para se detectar manifestações de toxicidade.

1.5. CRITÉRIOS QUALITATIVOS

Nenhum.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

Preparativos

Os animais são mantidos nas condições de alojamento e de alimentação da experiência, durante pelos menos cinco dias antes do teste. Antes de começar o teste, os animais jovens e sãos são distribuídos ao acaso pelos grupos submetidos ao tratamento e de controlo.

*Condições experimentais**Animais de experiência*

A espécie preferida é o rato.

Podem utilizar-se outras espécies (roedores ou não roedores) de acordo com os resultados de estudos anteriores. Devem utilizar-se animais jovens e sãos de estirpes correntes de laboratório, e o tratamento deve começar o mais cedo possível após o desmame.

No início da experiência a diferença de peso entre os animais não deverá ultrapassar $\pm 20\%$ do peso médio. Se um estudo subcrónico oral tiver constituído a fase preliminar de um estudo a longo prazo deve utilizar-se a mesma espécie e estirpe em ambos os estudos.

Número e sexo

No caso de roedores serão utilizados pelo menos 40 animais (20 fêmeas e 20 machos) para cada dose e grupo de controlo correspondente. As fêmeas deverão ser nulíparas e não grávidas. Se estiver previsto o sacrifício de animais no decurso da experiência, os efectivos devem ser aumentados do número de animais cujo sacrifício estiver previsto.

Para os não roedores aceita-se um número mais pequeno de animais, pelo menos quatro por sexo e por grupo.

Doses e frequência de exposição

Devem utilizar-se pelo menos três doses além do grupo de controlo correspondente. A dose máxima deverá produzir manifestações nítidas de toxicidade sem causar mortalidade excessiva.

A dose mais baixa não produzirá nenhum efeito tóxico.

A(s) dose(s) intermédia(s) terá (terão) um valor próximo da média entre a dose máxima e a dose mínima.

Os níveis de dose deverão ter em conta os dados obtidos nos ensaios e estudos de toxicidade efectuados anteriormente.

Normalmente a frequência de exposição será diária. Se o produto químico for administrado na água de beber ou incorporado na alimentação, deve estar constantemente disponível.

Controlos

Deverá utilizar-se um grupo de controlo idêntico em todos os aspectos aos grupos tratados com excepção da exposição à substância a testar.

Em condições especiais, como em estudos por inalação implicando o emprego de aerossóis ou o uso de um emulsionante com actividade biológica não estudada em ensaios por via oral, deverá utilizar-se um grupo suplementar de controlo negativo correspondente. O grupo de controlo negativo é tratado da mesma maneira que os outros grupos com excepção da exposição à substância a testar ou a qualquer veículo.

Via de administração

As duas vias principais de administração são a oral e a respiratória (por inalação). A escolha da via de administração depende das características físico-químicas da substância a testar e da via mais provável de exposição humana.

A utilização da via cutânea coloca problemas práticos consideráveis. A toxicidade crónica sistémica provocada pela absorção percutânea pode normalmente deduzir-se dos resultados de outros testes orais, e do conhecimento da quantidade de substância absorvida por via percutânea em estudos anteriores de toxicidade por essa via.

Estudos por via oral

A via oral de administração é preferida, salvo contra-indicações, se a substância a testar for absorvida pelo tubo digestivo e se a ingestão for uma via possível de exposição humana. Os animais podem receber a substância a testar na alimentação, dissolvida na água de beber, ou numa cápsula. Em condições ideais a dose diária será administrada sete dias por semana visto que a administração em cinco dias por cada sete pode permitir a recuperação do animal ou a diminuição de toxicidade no período em que o tratamento é interrompido e assim afectar os resultados e a avaliação subsequente. No entanto, por razões essencialmente práticas, a administração em cinco dias por cada sete é considerada aceitável.

Estudos por inalação

Um vez que os estudos por inalação colocam problemas técnicos de maior complexidade do que os por outras vias de administração, são dadas aqui recomendações mais pormenorizadas. Deve notar-se que a instilação endotraqueal pode constituir uma alternativa válida em certas situações específicas.

As exposições prolongadas (de longo prazo) são habitualmente calculadas em função da exposição humana prevista: os animais são expostos cinco dias por semana (exposição intermitente) à razão de seis horas por dia depois de se obterem as concentrações na câmara de experiência ou expostos sete dias em cada sete (exposição contínua) à razão de 22 a 24 horas por dia destinando-se uma hora por dia à alimentação dos animais segundo um horário regular e à manutenção das câmaras. Em ambos os casos os animais são habitualmente expostos a uma concentração fixa da substância a testar.

Uma diferença essencial entre a exposição intermitente e a exposição contínua reside no facto de na primeira os animais disporem de um período de 17 a 18 horas para recuperar dos efeitos da exposição diária e mesmo de um período mais longo durante os fins-de-semana.

A escolha da exposição intermitente ou contínua será feita em função dos objectivos do estudo e da exposição humana que deve ser simulada. Convém no entanto ter em conta certas dificuldades técnicas: por exemplo as vantagens da exposição contínua na simulação das condições do ambiente podem ser contrariadas pela

necessidade de alimentar e dar de beber aos animais durante a exposição e ainda pela necessidade de técnicas mais complicadas de produção de aerossóis e de vapores, bem como de monitorização.

Câmaras de exposição

Os animais são expostos à substância a testar em câmaras de inalação concebidas de forma a conseguir-se um fluxo de ar dinâmico de pelo menos 12 renovações de ar por hora e uma concentração adequada de oxigénio e uma distribuição uniforme da substância a testar no ar. As câmaras de exposição e as câmaras de controlo serão idênticas quanto à construção e concepção a fim de garantirem condições de exposição comparáveis em todos os aspectos, com excepção da exposição à substância a testar. Geralmente mantém-se uma ligeira pressão negativa no interior da câmara para impedir fugas da substância a testar para a área envolvente. As câmaras deverão ser concebidas de forma a evitar a superlotação com os animais de experiência. Em geral, para assegurar a estabilidade da atmosfera da câmara, o volume total dos animais de experiência não deve ultrapassar 5 % do volume da câmara de exposição.

Deverá ser feita a medição ou monitorização de:

- i) Débito do ar: o débito do ar na câmara deverá de preferência ser monitorizado continuamente;
- ii) Concentração: durante o período de exposição diária a concentração da substância a testar não deve variar mais do que $\pm 15\%$ em redor do valor médio;
- iii) Temperatura e humidade: para roedores a temperatura deve ser mantida a 22°C ($\pm 2^{\circ}\text{C}$) e a humidade dentro da câmara será de 30 % a 70 %, excepto quando se utilizar água para colocar em suspensão na atmosfera das câmaras a substância a testar. Estes parâmetros serão, de preferência, monitorizados permanentemente;
- iv) Análise granulométrica das partículas: deverá efectuar-se uma determinação da distribuição granulométrica das partículas nas atmosferas das câmaras onde se utilizam aerossóis líquidos ou sólidos. As partículas do aerossol deverão ter um diâmetro respirável para o animal de experiência utilizado. Serão retiradas amostras das atmosferas das câmaras de ensaio, na zona de respiração dos animais. A amostra de ar retirada deverá ser representativa da distribuição das partículas a que os animais são expostos e representará, numa base gravimétrica, o conjunto do aerossol em suspensão, mesmo se uma grande parte deste não for inalável. As análises granulométricas serão feitas frequentemente durante a elaboração do sistema gerador para assegurar a estabilidade do aerossol, sendo depois feitas tantas vezes quanto as necessárias durante as exposições para determinar de forma adequada a estabilidade das distribuições das partículas a que os animais forem expostos.

Duração do estudo

O período de administração deverá ser pelo menos de 12 meses.

Procedimento

Observações

Deverá proceder-se pelo menos uma vez por dia a um exame clínico atento. Observações complementares deverão ser feitas diariamente e tomar-se medidas apropriadas para diminuir a perda de animais do estudo, por exemplo autópsia, ou refrigeração dos animais encontrados mortos e isolamento ou sacrifício dos animais de saúde precária. Os animais serão observados cuidadosamente para se detectar o aparecimento ou desaparecimento de sinais de toxicidade assim como para reduzir a perda de animais por doença, autólise dos tecidos ou canibalismo.

Os sinais clínicos incluindo as modificações neurológicas e oculares assim como a mortalidade serão registados relativamente a todos os animais. Será registado o momento do aparecimento de efeitos tóxicos e a sua evolução assim como os tumores suspeitos.

O peso de cada animal será determinado e registado uma vez por semana durante as 13 primeiras semanas do período de ensaio e posteriormente pelo menos uma vez de quatro em quatro semanas. O consumo alimentar será determinado todas as semanas durante as 13 primeiras semanas do estudo e posteriormente de três em três meses a menos que o estado de saúde ou as modificações do peso corporal dos animais justifiquem outra frequência.

Exame hematológico

Deverá efectuar-se um exame hematológico (por exemplo, concentração de hemoglobina, hematócrito, número total de leucócitos, plaquetas ou outros testes de coagulação) aos três meses, aos seis meses e em seguida a intervalos de seis meses e no fim da experiência, em amostras de sangue recolhidas de todos os não roedores e de 10 ratos/sexo de cada grupo. Se possível, as amostras deveriam ser colhidas de cada vez nos mesmos ratos. Além disso, deve colher-se uma amostra de sangue antes do teste, aos não roedores.

Se as observações clínicas sugerirem uma deterioração do estado de saúde de alguns dos animais durante o estudo, deverá obter-se uma fórmula leucocitária dos animais afectados.

Deverá obter-se uma fórmula leucocitária em amostras de sangue dos animais do grupo tratado com a dose mais elevada e dos controlos. Serão obtidas fórmulas no(s) grupo(s) tratado(s) com dose mais baixa apenas no caso de se verificar uma grande discrepância entre o grupo tratado com a dose mais elevada e os controlos, ou se indicados pelos achados patológicos.

Análise de urina

Serão colhidas as amostras de urina para análise a todos os não roedores assim como em 10 ratos/sexo de todos os grupos, se possível sempre aos mesmos ratos e na mesma altura dos exames histopatológicos. Deverão ser efectuadas as seguintes determinações em cada animal individualmente ou, no caso dos roedores, num *pool* de urina do mesmo grupo e do mesmo sexo:

- aspecto: volume e densidade para os animais tomados individualmente,
- proteínas, glicose, corpos cetónicos, sangue oculto (semiquantitativamente),
- microscopia do sedimento urinário (semiquantitativamente).

Bioquímica clínica

De seis em seis meses e no fim do estudo colher-se-ão amostras de sangue para determinações bioquímicas clínicas de todos os não roedores e a 10 ratos/sexo de todos os grupos e, se possível, sempre dos mesmos ratos de cada vez. Além disso, será recolhida uma amostra pré-teste dos não roedores. O plasma preparado a partir destas amostras será utilizado para as seguintes determinações:

- concentração de proteínas totais,
- concentração de albumina,
- testes de função hepática (tais como a actividade da fosfatase alcalina, actividades da transaminase glutâmico-pirúvica ⁽¹⁾ e da glutâmico-oxaloacética ⁽²⁾, gama-glutamyl transpeptidase, ornitina descarboxilase,
- metabolismo dos hidratos de carbono como uma glicemia em jejum,
- testes da função renal como a ureia sanguínea.

Autópsia

Todos os animais serão submetidos a uma autópsia geral, incluindo os que morrem no decurso da experiência ou que tenham sido sacrificados por se encontrarem moribundos. Antes do sacrifício deverão colher-se amostras de sangue de todos os animais para se fazerem fórmulas leucocitárias. Deverão ser considerados todos os tumores ou lesões nitidamente visíveis e as lesões suspeitas de serem tumores. Tentar-se-á estabelecer correlações entre os achados macroscópicos e as observações microscópicas.

Deverão ser conservados todos os órgãos e tecidos para um exame histopatológico. Este procedimento inclui habitualmente os seguintes órgãos e tecidos: cérebro ⁽³⁾ (medula/protuberância, córtex cerebeloso, córtex cerebral), hipófise, tireoideia (incluindo paratiroides), timo, pulmões (incluindo traqueia), coração, aorta, glândulas salivares, fígado ⁽³⁾, baço, rins ⁽³⁾, supra-renais ⁽³⁾, esófago, estômago, duodeno, jejuno, íleo, cego, cólon, recto, bexiga, gânglios linfáticos, pâncreas, gónadas ⁽³⁾, órgãos genitais anexos, glândula mamária na fêmea, pele, musculatura, nervo periférico, medula espinhal (cervical, torácica, lombar), esterno com medula óssea, e fémur (incluindo articulação) e olhos. A insuflação dos pulmões e bexiga com um fixador é o meio óptimo para preservar estes tecidos; a insuflação dos pulmões nos estudos de inalação é essencial para um exame histopatológico apropriado. Em estudos especiais como os de inalação deve ser estudado todo o sistema respiratório, incluindo o nariz, faringe e laringe.

⁽¹⁾ Actualmente designada transaminase da alanina.

⁽²⁾ Actualmente designada transaminase do aspartato.

⁽³⁾ Estes órgãos, provenientes de 10 animais por sexo e por grupo no caso dos roedores deverão ser pesados.

Se se fizerem outros exames clínicos, a informação obtida deverá estar disponível antes do exame microscópico, uma vez que pode fornecer indicações preciosas ao patologista.

Histopatologia

Deverão ser examinadas microscopicamente todas as alterações visíveis, em particular tumores e outras lesões ocorrendo em qualquer órgão. Além disso são recomendados os seguintes procedimentos:

- a) Exame microscópico de todos os órgãos e tecidos, com uma descrição completa de todas as lesões encontradas em:
 1. todos os animais que morrerem ou forem sacrificados durante o estudo,
 2. todos os animais do grupo de dose mais elevado e controlos;
- b) Os órgãos e tecidos apresentando alterações causadas ou possivelmente causadas pela substância testada são também examinados nos grupos de dose mais baixa;
- c) Quando os resultados do teste indicarem uma redução substancial da duração normal da vida dos animais ou uma indução de efeitos que possam afectar a resposta tóxica, dever-se-á examinar os animais do grupo da dose imediatamente inferior, do modo descrito acima;
- d) informações sobre a incidência de lesões ocorrendo normalmente na estirpe de animais utilizados, nas mesmas condições laboratoriais, isto é, dados de experiências anteriores acerca dos controlos, são indispensáveis para uma avaliação correcta da significância das alterações observadas nos animais tratados.

2. RESULTADOS

Os resultados deverão ser resumidos em quadros, indicando, para cada grupo de experiência o número de animais no início do teste, o número de animais apresentando lesões e a percentagem de animais apresentando cada tipo de lesões. Os resultados deverão ser avaliados com um método estatístico apropriado.

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO TESTE

O relatório do teste deverá incluir as seguintes informações:

- espécie, estirpe, origem, condições do ambiente, dieta,
- condições experimentais:

Descrição do dispositivo de exposição:

Incluindo concepção, tipo, dimensões, fonte de ar, sistema gerador de partículas e aerossóis, método de acondicionamento dos animais na câmara de exposição, quando utilizada. Deverá ser descrito o equipamento utilizado para a medição da temperatura, da humidade e, se necessário, da estabilidade da concentração ou a granulometria das partículas.

Dados relativos à experiência

Estes deverão ser apresentados em forma de quadros indicando as médias e uma medida da variação (por exemplo, o desvio-padrão) e deverão incluir:

- a) Os débitos do ar através do dispositivo de inalação;

- b) A temperatura e a humidade do ar;
 - c) As concentrações nominais (quantidade total da substância a testar introduzida no dispositivo de inalação dividida pelo volume do ar);
 - d) Natureza do veículo, se utilizado;
 - e) Concentrações na zona de respiração;
 - f) Dimensões médias das partículas (se necessário),
- doses (incluindo veículo, se utilizado) e concentrações,
 - resposta tóxica, por sexo e por dose,
 - dose sem efeitos, se possível,
 - momento da morte durante o estudo ou indicação dos animais sobreviventes,
 - descrição dos efeitos tóxicos e outros,
 - momento de observação das manifestações anormais e sua evolução subsequente,
 - observações oftalmológicas,
 - dados relativos à alimentação e peso corporal,
 - testes hematológicos utilizados e todos os seus resultados,
 - testes bioquímicos clínicos empregados e todos os resultados (incluindo todas as análises de urina),
 - resultados da autópsia,
 - descrição pormenorizada de todas as observações histopatológicas,
 - tratamento estatístico dos resultados, se possível,
 - discussão dos resultados,
 - interpretação dos resultados.

3.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

4. REFERÊNCIAS

Ver Introdução Geral, parte B.

B.31. ESTUDO DE TOXICIDADE SOBRE O DESENVOLVIMENTO PRÉ-NATAL

1. MÉTODO

O presente método baseia-se na publicação OECD TG 414 (2001) (normas de ensaio da OCDE).

1.1. INTRODUÇÃO

O presente método de ensaio de toxicidade sobre o desenvolvimento destina-se a fornecer informação geral sobre os efeitos de exposição pré-natal no animal de ensaio prenhe e no organismo em desenvolvimento no útero; pode incluir a avaliação de efeitos maternos e de morte, anomalias estruturais ou alterações no crescimento do feto. Apesar de constituírem uma parte importante do desenvolvimento, as deficiências funcionais não são contempladas neste método de ensaio, poderão ser testadas num estudo independente ou em complementaridade ao presente estudo, usando o método de ensaio de neurotoxicidade sobre o desenvolvimento. Para obter informações relativas aos ensaios sobre deficiências funcionais e outros efeitos pós-natais, deverão consultar-se os métodos de ensaio para o estudo da toxicidade sobre a reprodução em duas gerações e o estudo da neurotoxicidade sobre o desenvolvimento, conforme seja apropriado.

Em situações pontuais, poderá revelar-se oportuno introduzir adaptações específicas no método de ensaio com base em informações relativas, por exemplo, às propriedades físico-químicas ou toxicológicas da substância de ensaio. Contudo, este procedimento só será aceitável quando existirem fortes razões científicas de que as alterações ao método conduzirão a um ensaio mais informativo. Nesse caso, os fundamentos científicos que justificam as adaptações introduzidas deverão ser cuidadosamente documentados no relatório do estudo.

1.2. DEFINIÇÕES

Toxicologia sobre o desenvolvimento: estudo dos efeitos adversos que se manifestam num organismo em desenvolvimento em resultado da exposição a determinada substância antes da concepção, durante o desenvolvimento pré-natal ou no período que decorre desde o nascimento até à maturação sexual. As principais manifestações de toxicidade sobre desenvolvimento incluem: 1) morte do organismo, 2) anomalia estrutural, 3) alterações no crescimento e 4) deficiência funcional. Anteriormente, a toxicologia sobre o desenvolvimento era, em muitos casos, designada por teratologia.

Efeito adverso: qualquer alteração à normalidade relacionada com o tratamento que diminua a capacidade de um organismo para sobreviver, reproduzir-se ou adaptar-se ao meio ambiente. No que respeita à toxicologia sobre o desenvolvimento, esta definição abrange, no seu sentido mais lato, todos os efeitos que interfiram no desenvolvimento normal do conceito, antes e após o nascimento.

Alterações no crescimento: alteração de peso ou tamanho do corpo ou de um órgão de um descendente.

Alterações (anomalias): alterações estruturais no desenvolvimento, que incluem as malformações e as variações (28).

Malformação/Anomalia grave: alteração estrutural considerada prejudicial para o animal (pode também ser letal), cuja ocorrência é normalmente rara.

Varição/Anomalia ligeira: alteração estrutural pouco ou nada prejudicial para o animal; pode ser transiente e ocorrer com relativa frequência na população de controlo.

Concepto: conjunto dos derivados de um óvulo fertilizado em qualquer estágio de desenvolvimento, desde a fertilização até ao nascimento, incluindo as membranas extraembrionárias, bem como o embrião ou o feto.

Implantação (nidação): ligação do blastocisto ao revestimento epitelial do útero, incluindo a sua penetração através do epitélio uterino e a sua implantação no endométrio.

Embrião: estágio inicial ou em desenvolvimento de qualquer organismo; mais especificamente, é o produto da fertilização de um óvulo nas fases de desenvolvimento que decorrem desde o aparecimento da corda dorsal até à formação de todas as estruturas principais.

Embriotoxicidade: conjunto dos efeitos prejudiciais sobre a estrutura, desenvolvimento, crescimento e/ou viabilidade normais de um embrião.

Feto: organismo em gestação no período pós-embrionário.

Toxicidade fetal: conjunto dos efeitos prejudiciais sobre a estrutura, desenvolvimento, crescimento e/ou viabilidade normais de um feto.

Aborto: expulsão prematura do útero dos produtos da concepção: o embrião ou um feto inviável.

Reabsorção: reabsorção (presente ou passada) de um produto de concepção morto depois de implantado no útero.

Reabsorção prematura: sinais de implantação sem existência reconhecível de embrião/feto.

Reabsorção tardia: embrião ou feto morto, que apresentam alterações degenerativas externas.

NSEAO: abreviatura para nível sem efeito adverso observável; corresponde à maior dose ou ao maior nível de exposição para o qual não se observam efeitos adversos relacionados com o tratamento.

1.3. SUBSTÂNCIA DE REFERÊNCIA

Nenhuma.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Normalmente, a substância de ensaio é administrada aos animais prenhes desde o momento da implantação (pelo menos) até ao dia anterior ao previsto para o sacrifício. O dia do sacrifício deverá ser agendado o mais próximo possível da data esperada para o parto, sem que seja descurada a possibilidade de ocorrerem parto prematuro e a consequente perda de dados. O método de ensaio não se destina apenas a examinar o período da organogénese (por exemplo, dias 5-15 em roedores e dias 6-18 no coelho); permite também avaliar efeitos de toxicidade desde a pré-implantação (se apropriado) e ao longo de todo o período de gestação até ao dia anterior à operação cesariana. As fêmeas são sacrificadas pouco antes da operação cesariana, após o que os conteúdos uterinos são examinados e os fetos inspecionados para detectar a presença de anomalias externas visíveis e alterações dos tecidos moles e do esqueleto.

1.5. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.5.1. Selecção de espécies animais

Recomenda-se que o ensaio seja realizado com as espécies mais relevantes e que se utilizem as espécies e estirpes laboratoriais mais vulgarmente usadas em ensaios de toxicidade sobre o desenvolvimento pré-natal. As espécies preferidas para ensaio são o rato, no caso de roedores, e o coelho, no caso de não roedores. O uso de outras espécies deverá ser devidamente justificado.

1.5.2. Condições de alojamento e alimentação

A temperatura do compartimento experimental dos animais deve ser 22 °C (+ 3 °C) para roedores e 18 °C (± 3 °C) para coelhos. A humidade relativa deverá ser 50 %-60 %, embora sejam aceitáveis valores entre um mínimo de 30 % e um máximo que, preferivelmente, não deverá exceder 70 %, salvo durante os períodos de limpeza do compartimento. A iluminação deve ser artificial, com sequências de 12 horas de luz e 12 horas de escuridão. A alimentação pode basear-se em dietas de laboratório convencionais, com fornecimento ilimitado de água para beber.

O acasalamento deve ocorrer em gaiolas adequadas para o efeito. Embora seja preferível alojar individualmente os animais durante o acasalamento, considera-se aceitável o alojamento conjunto de um pequeno número de animais.

1.5.3. Preparação dos animais

Devem usar-se animais saudáveis que tenham permanecido nas condições laboratoriais durante pelo menos cinco dias antes do ensaio para aclimação e que não tenham sido sujeitos a experiências anteriores. Os animais de ensaio devem ser caracterizados no que respeita à espécie, estirpe, proveniência, sexo, peso e/ou idade. Os animais de todos os grupos de ensaio devem ser, tanto quanto possível, uniformes quanto ao peso e à idade. Devem usar-se fêmeas jovens, adultas e nulíparas em todos os níveis de dose. As fêmeas devem acasalar com machos da mesma espécie e estirpe, devendo evitar-se o acasalamento entre irmãos. Em roedores, considera-se o dia 0 de gestação aquele em que se observa um rolhão vaginal e/ou esperma. Em coelhos, o dia 0 é normalmente o dia do coito ou da inseminação artificial, caso esta técnica seja usada. As gaiolas devem ser dispostas de forma a minimizar possíveis efeitos derivados do seu posicionamento. Cada animal deve receber um número de identificação individualizado. As fêmeas acasaladas devem ser distribuídas pelos grupos de controlo e de tratamento de forma aleatória. Caso tenha havido alojamento conjunto de várias fêmeas durante o acasalamento, os animais de cada conjunto devem ser distribuídos uniformemente pelos grupos de ensaio. Do mesmo modo, as fêmeas inseminadas pelo mesmo macho devem ser distribuídas equitativamente pelos vários grupos.

1.6. PROCEDIMENTO**1.6.1. Número e sexo dos animais**

Cada grupo de ensaio e de controlo deve comportar um número de fêmeas suficiente para que se obtenham cerca de 20 animais com locais de implantação no momento da necropsia. Os grupos com menos de 16 animais com locais de implantação poderão ser considerados como inadequados. A mortalidade materna não invalida necessariamente o estudo, desde que não seja superior a cerca de 10 %.

1.6.2. Preparação das doses

Se for usado um agente de transporte ou outro aditivo para facilitar a administração das doses, deverão ser tomadas em consideração as seguintes características: efeitos na absorção, distribuição, metabolismo e retenção ou excreção da substância de ensaio; efeitos nas propriedades químicas da substância de ensaio susceptíveis de alterar as suas características tóxicas; e efeitos no consumo de alimentos, na ingestão de água ou no estado nutricional dos animais. O agente de transporte não deverá apresentar toxicidade sobre o desenvolvimento nem exercer efeitos na reprodução.

1.6.3. Dosagem

Normalmente, a substância de ensaio deverá ser administrada diariamente, desde a implantação (por exemplo, no dia cinco pós-acasalamento) até ao dia anterior ao previsto para a operação cesariana. Se estudos anteriores eventualmente disponíveis não indicarem um elevado potencial para perdas pré-implantação, o tratamento poderá prolongar-se de forma a abranger todo o período de gestação, desde o acasalamento até ao dia anterior ao previsto para o sacrifício. É sabido que a manipulação imprópria ou a sujeição a tensões durante a gravidez podem resultar em perdas pré-natais, pelo que devem evitar-se manipulações desnecessárias dos animais prenhes e tensões de origem externa, tais como ruído, de forma a minimizar as perdas por factores não relacionados com o tratamento.

Devem utilizar-se pelo menos três níveis de dose e um controlo simultâneo. Os animais saudáveis devem ser distribuídos aleatoriamente pelos grupos de controlo e de tratamento. Os níveis de dose devem ser espaçados de forma a produzir uma gradação de efeitos tóxicos. A escolha do nível de dose máximo deve ter como objectivo produzir alguma toxicidade sobre o desenvolvimento e/ou sobre a mãe (sinais clínicos ou diminuição do peso corporal), mas não a morte ou sofrimento agudo, salvo se existirem limitações impostas pela natureza físico-química ou pelas propriedades biológicas da substância de ensaio. Pelo menos um dos níveis de dose intermédios deverá produzir efeitos tóxicos mínimos observáveis. O nível de dose mais baixo não deverá induzir qualquer sinal de toxicidade sobre a mãe ou sobre o desenvolvimento. Deve seleccionar-se uma sequência descendente de níveis de dose que permita detectar qualquer resposta relacionada com a dosagem e determinar o nível sem efeito adverso observável (NSEAO). Frequentemente, a melhor forma de estabelecer estas sequências consiste no espaçamento das doses em série geométrica, usando factores de dois ou de quatro. A adição de um quarto grupo de ensaio é muitas vezes preferível ao uso de intervalos muito grandes entre as dosagens (ou seja, com um factor superior a 10). Embora um dos objectivos do ensaio seja a determinação do NSEAO materno, podem considerar-se aceitáveis estudos que não permitam o cálculo deste valor (1).

A escolha dos níveis de dose deverá tomar em consideração todos os dados de toxicidade existentes, bem como informações adicionais sobre o metabolismo e toxicocinética da substância de ensaio ou de substâncias relacionadas. Estas informações poderão ser também usadas para demonstrar a adequação do regime de dosagem.

Deve usar-se um grupo de controlo simultâneo, que poderá ser um grupo com tratamento simulado ou, se for usado um agente de transporte para administrar a substância de ensaio, um grupo de controlo do agente de transporte. Todos os grupos devem ser tratados com o mesmo volume da substância de ensaio ou do agente de transporte. Os animais do(s) grupo(s) de controlo devem ser manipulados de forma idêntica aos animais dos grupos de ensaio. Os grupos de controlo do agente de transporte deverão receber o volume máximo de agente de transporte utilizado no ensaio (ou seja, um volume idêntico ao do grupo do nível de dose mais baixo).

1.6.4. Ensaio-limite

Se um ensaio com um nível de dose oral de pelo menos 1 000 mg/kg de peso corporal/dia, realizado de acordo com os procedimentos descritos neste estudo, não provocar toxicidade observável nos animais prenhes nem na sua descendência e se, para além disso, os dados existentes sobre compostos estrutural e/ou metabolicamente relacionados com a substância de ensaio não sugerirem a possível ocorrência de efeitos, poderá considerar-se desnecessário realizar um ensaio completo com três níveis de dose. Nos casos em que se preveja exposição humana, poderá ser necessário aumentar o nível de dose oral no ensaio-limite. Quando se usam outras formas de administração, como inalação ou aplicação cutânea, as propriedades físico-químicas da substância de ensaio são muitas vezes indicativas e limitantes do nível máximo de exposição praticável (por exemplo, a aplicação cutânea não deverá causar toxicidade local grave).

1.6.5. Administração das doses

Na maior parte dos casos, a substância de ensaio ou o agente de transporte são administrados oralmente por intubação. Se for usada outra via de administração, o experimentador deverá indicar e justificar as razões que presidiram à sua escolha; nesse caso, poderá ser necessário introduzir modificações apropriadas no método de ensaio (2)(3)(4). A substância de ensaio deve ser administrada todos os dias aproximadamente à mesma hora.

Normalmente, a dose a administrar a cada animal é calculada com base na determinação mais recente do seu peso corporal. No entanto, o ajuste das doses durante o último terço da gravidez deve ser feito com precaução. A escolha da dose deve tomar em consideração dados de estudos anteriores para evitar um excesso de toxicidade materna; contudo, se tal suceder, as mães com indícios de toxicidade excessiva devem ser sacrificadas. Se vários animais prenhes apresentarem sinais de excesso de toxicidade, deverá considerar-se a possibilidade de pôr termo ao grupo de dose a que pertencem. A administração por gavagem deve ser feita, de preferência, numa toma única, usando uma sonda gástrica ou uma cânula de intubação apropriada. O volume máximo de líquido que pode ser administrado numa toma depende do tamanho do animal de ensaio, não devendo exceder 1 ml/100 g de peso corporal; exceptuam-se as soluções aquosas, que podem ser administradas na proporção de 2 ml/100 g de peso corporal. Quando se usa óleo de milho como agente de transporte, o volume máximo aceitável é de 0,4 ml/100 g de peso corporal. Deve minimizar-se a variabilidade do volume de ensaio efectuando ajustes nas concentrações, de forma a assegurar a constância do volume em todos os níveis de dose.

1.6.6. **Observação das mães**

Devem efectuar-se observações clínicas pelo menos uma vez por dia, de preferência sempre à(s) mesma(s) hora(s). A escolha do momento da observação deve tomar em consideração o período de efeitos máximos previsto que se verifica após a administração da dose. Estas observações devem ser descritas num registo, que deverá conter indicações sobre a condição dos animais, incluindo mortalidade, estado moribundo, alterações pertinentes do comportamento e todos os sinais de manifesta toxicidade.

1.6.7. **Peso corporal e consumo de alimento**

Os animais devem ser pesados no dia 0 de gestação (se os animais acasalados forem fornecidos por um criador externo, a pesagem poderá ser feita até ao dia três de gestação, o mais tardar), no primeiro dia de dosagem, de três em três dias (pelo menos) durante o período de dosagem e no dia do sacrifício.

Devem efectuar-se registos do consumo de alimento de três em três dias, coincidindo com dias da determinação do peso corporal.

1.6.8. **Inspeção pós-morte**

As fêmeas devem ser sacrificadas no dia anterior ao previsto para o parto. As fêmeas que apresentem sinais de aborto ou parto prematuro antes da data marcada para o sacrifício deverão ser mortas antecipadamente e submetidas a um exame macroscópico completo.

No momento do sacrifício ou da morte durante o estudo, as mães serão objecto de um exame macroscópico, a fim de se detectarem quaisquer anomalias estruturais ou modificações patológicas. A observação das mães durante a operação de cesariana e a subsequente análise fetal deverão ser feitas de preferência sem que os restantes animais do grupo se apercebam para evitar perturbações.

1.6.9. **Exame dos conteúdos uterinos**

Imediatamente após o sacrifício ou o mais cedo possível depois da morte espontânea, os úteros serão retirados para se averiguar o estado de gravidez dos animais. Os úteros que não se apresentem grávidos devem ser submetidos a exames adicionais (por exemplo, coloração com sulfureto de amónio em roedores e coloração de Salewsky ou um método alternativo apropriado em coelhos) para confirmar o estado de não gravidez (5).

Devem pesar-se os úteros grávidos, incluindo o colo. Não serão considerados para pesagem os úteros grávidos provenientes de animais encontrados mortos durante o estudo.

Deve determinar-se o número de corpos amarelos nos animais prenhes.

Devem examinar-se os conteúdos uterinos para determinar os números de embriões ou de fetos mortos, bem como o número de fetos viáveis. Deve avaliar-se o grau de reabsorção, a fim de determinar o tempo relativo da morte do conceito (ver secção 1.2).

1.6.10. **Exame dos fetos**

Devem determinar-se o sexo e o peso corporal de cada feto.

Cada feto será objecto de um exame para detectar alterações externas (6).

Os fetos devem ser examinados para detectar alterações do esqueleto e dos tecidos moles (por exemplo, variações e malformações ou anomalias) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19) (20) (21) (22) (23) (24). É aconselhável (mas não obrigatório) proceder à categorização das alterações fetais, explicitando

claramente os critérios usados para definir cada categoria. O aparelho reprodutor deve ser objecto de especial atenção, devendo ser inspecionado quanto a sinais de alterações no desenvolvimento.

No caso de roedores, devem preparar-se e examinar-se cerca de metade dos animais de cada ninhada para detecção de alterações do esqueleto; os restantes animais serão preparados e examinados para determinar alterações dos tecidos moles, usando métodos aprovados de sectionamento em série ou técnicas adequadas de dissecação macroscópica cuidadosa.

No caso de não roedores (por exemplo, o coelho), todos os fetos serão examinados para detectar alterações dos tecidos moles e do esqueleto. Os corpos serão preparados por dissecação cuidadosa e examinados quanto à existência de alterações dos tecidos moles; o exame pode incluir procedimentos adicionais para avaliação da estrutura cardíaca interna (25). Metade dos fetos será decapitada e as cabeças removidas serão processadas para avaliação de alterações de tecidos moles (incluindo olhos, cérebro, meatos nasais e língua), usando métodos correntes de sectionamento em série (26) ou outros métodos de sensibilidade idêntica. Os corpos dos fetos decapitados e os restantes fetos intactos serão processados e examinados para se detectarem alterações do esqueleto, recorrendo a métodos idênticos aos descritos para roedores.

2. DADOS

2.1. TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Os dados relativos às mães e aos seus descendentes devem ser registados individualmente e resumidos em forma tabular, indicando, para cada grupo de ensaio, o número de animais no início do ensaio, o número de animais encontrados mortos durante o ensaio ou sacrificados por razões humanitárias, o momento de todas as mortes (espontâneas ou provocadas), o número de fêmeas grávidas, o número de animais com sinais de toxicidade, uma descrição dos sinais de toxicidade observados (incluindo o momento do aparecimento, a duração e a intensidade), os tipos de observações embrionárias/fetais e todos os dados relevantes sobre as ninhadas.

Os resultados numéricos devem ser avaliados por um método estatístico apropriado, usando a ninhada como unidade para a análise de dados. Deve usar-se um método estatístico geralmente aceite; a sua escolha deve fazer parte do planeamento do estudo e ser devidamente justificada. Devem também registar-se os dados relativos a animais que não sobreviveram até à data prevista para o sacrifício. Quando apropriado, estes dados poderão ser incluídos nas médias de grupos; contudo, a sua importância e, consequentemente, a sua inclusão ou exclusão em qualquer média de grupo devem ser avaliadas e justificadas caso a caso.

2.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os dados recolhidos no Estudo de Toxicidade sobre o Desenvolvimento Pré-Natal deverão ser analisados em termos dos efeitos observados. Esta análise deverá considerar a seguinte informação:

- resultados do ensaio relativos à mãe e ao embrião/feto, incluindo uma avaliação da relação (ou da ausência de relação) entre a exposição dos animais à substância de ensaio e a incidência e a gravidade de todos os efeitos observados;
- critérios usados para a categorização das alterações externas, dos tecidos moles e do esqueleto dos fetos, caso tenha sido feita;
- dados de controlo de estudos anteriores, quando apropriado, a fim de consolidar a interpretação dos resultados do presente estudo;
- números usados no cálculo de todas as percentagens ou índices;
- análise estatística adequada dos resultados do estudo, quando apropriado; deverá incluir informação suficiente sobre o método de análise para que um examinador/estatístico independente possa reavaliar e reconstituir a análise.

No caso de o estudo demonstrar a inexistência de qualquer efeito tóxico, deverá considerar-se a possibilidade de realizar investigações adicionais no sentido de definir a absorção e a biodisponibilidade da substância de ensaio.

2.3. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A finalidade do estudo de toxicidade sobre o desenvolvimento pré-natal reside na obtenção de informações relativas aos efeitos de exposição repetida a uma substância durante a gravidez tanto nas mães como no desenvolvimento intra-uterino dos seus descendentes. A interpretação dos resultados deve tomar em consideração dados de estudos subcrónicos, de reprodução e toxicocinéticos, entre outros eventualmente

disponíveis. O estudo enfatiza de igual modo a toxicidade geral, que pode ser avaliada pela toxicidade sobre a mãe, e a toxicidade sobre o desenvolvimento. Assim, os resultados obtidos vão permitir estabelecer, até certo ponto, a distinção entre i) os efeitos sobre o desenvolvimento não associados a toxicidade geral e ii) os efeitos sobre o desenvolvimento que apenas são induzidos em níveis que também são tóxicos para a mãe (27).

3. RELATÓRIO

RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deverá incluir as seguintes informações específicas:

Substância de ensaio:

- natureza física e, quando relevante, propriedades físico-químicas;
- identificação, incluindo o número CAS, caso este seja conhecido ou esteja definido;
- pureza.

Agente de transporte (se apropriado):

- caso o agente de transporte não seja água, uma justificação para a sua escolha.

Animais de ensaio:

- espécie e estirpe usadas;
- número e idade dos animais;
- proveniência, condições de alojamento, dieta, etc.;
- pesos individuais dos animais no início do ensaio.

Condições de ensaio:

- razões que presidiram à escolha dos diferentes níveis de dose;
- informação pormenorizada sobre a formulação da substância de ensaio/preparação da dieta, concentração atingida, estabilidade e homogeneidade da preparação;
- informação pormenorizada sobre a administração da substância de ensaio;
- conversão da concentração da substância de ensaio na dieta/água de beber (ppm) para a dose real (mg/kg de peso corporal/dia), se aplicável;
- condições ambientais;
- informação pormenorizada sobre a qualidade dos alimentos e da água.

Resultados:

Dados de resposta tóxica materna por dose, incluindo, entre outras informações:

- número de animais no início do ensaio, número de animais sobreviventes, número de animais prenhes, número de animais que abortaram, número de animais com parto prematuro;

- dia da morte no decurso do estudo ou indicação dos animais sobreviventes no termo da experiência;
- os dados relativos a animais que não sobreviveram até à data prevista para o sacrifício devem ser incluídos no relatório, mas não devem ser usados em comparações estatísticas entre grupos;
- dia da observação de cada sinal de anomalia clínica e subsequente evolução dessa anomalia;
- peso corporal, alteração do peso corporal e peso do útero grávido; opcionalmente, alteração do peso corporal corrigida em relação ao peso do útero grávido;
- consumo de alimento e consumo de água (caso este tenha sido medido);
- resultados da necropsia, incluindo o peso uterino;
- deverão indicar-se os valores dos NSEAO para os efeitos maternos e para os efeitos sobre o desenvolvimento.

Desenvolvimento atingido nas ninhadas com implantes em cada nível de dose, incluindo:

- número de corpos amarelos;
- número de implantações, número e percentagem de fetos vivos e mortos e de reabsorções;
- número e percentagem de perdas pré e pós-implantação.

Desenvolvimento atingido nas ninhadas com fetos vivos em cada nível de dose, incluindo:

- número e percentagem de descendentes vivos;
- proporção entre os sexos;
- peso corporal fetal, de preferência por sexo e nos dois sexos em conjunto;
- malformações externas, dos tecidos moles e do esqueleto, bem como outras alterações relevantes;
- critérios usados na categorização, se apropriado;
- número total e percentagem de fetos e ninhadas que apresentem qualquer alteração externa, dos tecidos moles ou do esqueleto, bem como os tipos e incidências de anomalias individuais e outras alterações relevantes.

Análise dos resultados.

Conclusões.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Kavlock R.J. et al., (1996) A Simulation Study of the Influence of Study Design on the Estimation of Benchmark Doses for Developmental Toxicity. *Risk Analysis* 16, p. 399-410.
- (2) Kimmel, C.A. and Francis, E.Z., (1990) Proceedings of the Workshop on the Acceptability and Interpretation of Dermal Developmental Toxicity Studies. *Fundamental and Applied Toxicology*, 14, p. 386-398.
- (3) Wong, B.A., et al., (1997) Developing Specialised Inhalation Exposure Systems to Address Toxicological Problems. *CIIT Activities*, 17, p. 1-8.

- (4) US Environmental Protection Agency, (1985) Subpart E-Specific Organ/Tissue Toxicity, 40 CFR 798.4350: Inhalation Developmental Toxicity Study.
- (5) Salewski, E., (1964) Faerbermethode zum Makroskopischen Nachweis von Implantations Stellen am Uterus der Ratte. *Naunyn-Schmeidebergs Archiv für Pharmakologie und Experimentelle Pathologie*, 247, 367.
- (6) Edwards, J.A., (1968) The external Development of the Rabbit and Rat Embryo. In *Advances in Teratology*. D.H.M. Woolam (ed.) Vol. 3. Academic Press, NY.
- (7) Inouye, M. (1976) Differential Staining of Cartilage and Bone in Fetal Mouse Skeleton by Alcian Blue and Alizarin Red S. *Congenital Anomalies* 16, p. 171-173.
- (8) Igarashi, E. et al., (1992) Frequency Of Spontaneous Axial Skeletal Variations Detected by the Double Staining Technique for Ossified and Cartilaginous Skeleton in Rat Foetuses. *Congenital Anomalies* 32, p. 381-391.
- (9) Kimmel, C.A. et al., (1993) Skeletal Development Following Heat Exposure in the Rat. *Teratology* 47, p. 229-242.
- (10) Marr, M.C. et al. (1988) Comparison of Single and Double Staining for Evaluation of Skeletal Development: The Effects of Ethylene Glycol (EG) in CD Rats. *Teratology*, 37, p. 476.
- (11) Barrow, M.V. and Taylor, W.J. (1969) A Rapid Method for Detecting Malformations in Rat Foetuses. *Journal of Morphology* 127, 291-306.
- (12) Fritz, H. (1974) Prenatal Ossification in Rabbits as Indicative of Foetal Maturity. *Teratology* 11, p. 313-320.
- (13) Gibson, J.P. et al. (1966) Use of the Rabbit in Teratogenicity Studies. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 9, p. 398-408.
- (14) Kimmel, C.A. and Wilson, J.G. (1973) Skeletal Deviation in Rats: Malformations or Variations? *Teratology*, 8, p. 309-316.
- (15) Marr, M.C. et al. (1992) Developmental Stages of the CD (Sprague-Dawley) Rat Skeleton after Maternal Exposure to Ethylene Glycol. *Teratology*, 46, p. 169-181.
- (16) Monie, I.W. et al. (1965) Dissection Procedures for Rat Foetuses Permitting Alizarin Red Staining of Skeleton and Histological Study of Viscera. *Supplement to Teratology Workshop Manual*, p. 163-173.
- (17) Spark, C. and Dawson, A.B. (1928) The Order and Time of appearance of Centers of Ossification in the Fore and Hind Limbs of the Albino Rat, with Special Reference to the Possible Influence of the Sex Factor. *American Journal of Anatomy*, 41, p. 411-445.
- (18) Staples, R.E. and Schnell, V.L. (1964) Refinements in Rapid Clearing Technique in the KOH-Alizarin Red S Method for Fetal Bone. *Stain Technology*, 39, p. 61-63.
- (19) Strong, R.M. (1928) The Order Time and Rate of Ossification of the Albino Rat (*Mus Norvegicus Albinus*) Skeleton. *American Journal of Anatomy*, 36, 313-355.
- (20) Stuckhardt, J.L. and Poppe, S.M. (1984) Fresh Visceral Examination of Rat and Rabbit Foetuses Used in Teratogenicity Testing. *Teratogenesis, Carcinogenesis, and Mutagenesis*, 4, p. 181-188.
- (21) Walker, D.G. and Wirtschafter, Z.T. (1957) *The Genesis of the Rat Skeleton*. Thomas, Springfield, IL.
- (22) Wilson, J.G. (1965) Embryological Considerations in Teratology. In *Teratology: Principles and Techniques*, Wilson J.G. and Warkany J. (eds). University of Chicago, Chicago, IL, p. 251-277.
- (23) Wilson, J.G. and Fraser, F.C. (eds). (1977) *Handbook of Teratology*, Vol. 4. Plenum, NY.

-
- (24) Varnagy, L. (1980) Use of Recent Fetal Bone Staining Techniques in the Evaluation of Pesticide Teratogenicity. *Acta Vet. Acad. Sci. Hung.*, 28, p. 233-239.
- (25) Staples, R.E. (1974) Detection of visceral Alterations in Mammalian Foetuses. *Teratology*, 9, p. 37-38.
- (26) Van Julsingha, E.B. and C.G. Bennett (1977) A Dissecting Procedure for the Detection of Anomalies in the Rabbit Foetal Head. In: *Methods in Prenatal Toxicology* Neubert, D., Merker, H.J. and Kwasigroch, T.E. (eds.). University of Chicago, Chicago, IL, p. 126-144.
- (27) US Environmental Protection Agency (1991) Guidelines for Developmental Toxicity Risk Assessment. *Federal Register*, 56, p. 63798-63826.
- (28) Wise, D.L. et al. (1997) Terminology of Developmental Abnormalities in Common Laboratory Mammals (Version 1) *Teratology*, 55, p. 249-292.

B.32. **TESTE DE CARCINOGENESE**1. **MÉTODO**1.1. **INTRODUÇÃO**

Ver Introdução Geral, parte B.

1.2. **DEFINIÇÕES**

Ver Introdução Geral, parte B.

1.3. **SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA**

Nenhuma.

1.4. **PRINCÍPIO DO MÉTODO DO ENSAIO**

A substância a testar é administrada normalmente sete dias por semana, pela via apropriada, a vários grupos de animais de experiência à razão de uma dose por cada grupo durante a maior parte da sua vida. Durante e depois da exposição à substância a testar observa-se diariamente os animais de experiência, para se detectarem sinais de toxicidade, em especial a formação de tumores.

1.5. **CRITÉRIOS QUALITATIVOS**

Nenhum.

1.6. **DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO**

Os animais são mantidos nas condições de alojamento e alimentação da experiência durante pelo menos cinco dias antes do teste. Antes de começar o teste os animais jovens e sãos são distribuídos ao acaso pelos grupos submetidos ao tratamento e de controlo.

Animais de experiência

A espécie preferida é o rato. Podem utilizar-se outras espécies (roedores ou não roedores) de acordo com resultados de estudos anteriores. Devem utilizar-se animais jovens e sãos de estirpes correntes de laboratório e o tratamento deve começar o mais cedo possível após o desmame.

No início da experiência a diferença de peso entre os animais não deverá ultrapassar $\pm 20\%$ do peso médio. Se um estudo de toxicidade subcrónica oral tiver constituído a fase preliminar de um estudo a longo prazo deve utilizar-se a mesma espécie e estirpe em ambos os estudos.

Número e sexo

No caso de roedores serão utilizados pelo menos 100 animais (50 machos e 50 fêmeas) para cada dose e grupo de controlo correspondente. As fêmeas serão nulíparas e não grávidas. Se estiver previsto o sacrifício de animais no decurso da experiência, os efectivos devem ser aumentados do número dos animais cujo sacrifício estiver previsto.

Doses e frequência de exposição

Devem utilizar-se pelo menos três doses além do grupo de controlo correspondente. A dose máxima deverá provocar sinais mínimos de toxicidade tais como um pequeno abrandamento da progressão do peso corporal (menos de 10 %), sem alterar substancialmente a duração normal de vida devido a efeitos diferentes de tumores.

A dose mais baixa não deverá alterar o crescimento normal, desenvolvimento e longevidade dos animais, ou produzir qualquer manifestação de toxicidade.

A(s) dose(s) intermédia(s) terá (terão) um valor próximo da média entre a dose máxima e a dose mínima.

Os níveis de dose deverão ter em conta os dados obtidos nos ensaios e estudos de toxicidade efectuados anteriormente.

Normalmente a frequência de exposição será diária.

Se a substância a testar for administrada na água de beber ou incorporada na alimentação, deve estar constantemente disponível.

Controlos

Deverá utilizar-se um grupo de controlo idêntico em todos os aspectos aos grupos de tratamento com excepção da exposição à substância a testar.

Em condições especiais, como em estudos por inalação implicando o emprego de aerossóis ou o uso de um emulsionante com actividade biológica não estudada em ensaios por via oral, deverá utilizar-se um grupo suplementar de controlo não exposto ao veículo.

Via de administração

As três principais vias de administração são a oral, cutânea e inalatória. A escolha da via de administração depende das características físico-químicas da substância a testar e da via mais provável de exposição humana.

Estudos por via oral

A via oral de administração é preferida, salvo contra-indicações, se a substância a testar for absorvida pelo tubo digestivo e se a ingestão for uma via possível de exposição humana. Os animais podem receber a substância a testar na dieta, dissolvida na água de beber ou sob a forma de cápsulas.

Em condições ideais, a dose diária será administrada sete dias por cada sete visto que a administração em cinco dias por cada sete pode permitir a recuperação do animal ou a diminuição da toxicidade no período em que o tratamento é interrompido e assim afectar os resultados e a avaliação subsequente. No entanto, por razões essencialmente práticas a administração em cinco dias por sete é considerada aceitável.

Estudos por via cutânea

A exposição cutânea por aplicação com pincel pode ser escolhida para simular uma via principal de exposição humana e também como um modelo experimental para a indução de lesões cutâneas.

Estudos por inalação

Uma vez que os estudos de inalação colocam problemas técnicos de maior complexidade do que os que usam outras vias de administração, são dadas aqui recomendações mais pormenorizadas. Deve notar-se que a instilação endotraqueal pode constituir uma alternativa válida em certas situações específicas.

As exposições prolongadas (de longo prazo) são habitualmente calculadas em função da exposição humana prevista: os animais são expostos cinco dias em cada sete (exposição intermitente) à razão de seis horas por dia depois de se obterem as concentrações na câmara de experiência ou expostos sete dias em cada sete (exposição contínua) à razão de 22 a 24 horas por dia, destinando-se uma hora por dia à alimentação dos animais segundo horário regular e à manutenção das câmaras. Em ambos os casos os animais são habitualmente expostos a uma concentração fixa da substância a testar.

Uma diferença essencial entre a exposição intermitente e a exposição contínua reside no facto de na primeira os animais disporem de um período de 17 a 18 horas para recuperar dos efeitos da exposição diária e mesmo de um período mais longo durante os fins-de-semana. A escolha entre a exposição intermitente ou contínua será feita em função dos objectivos do estudo e da exposição humana que deve ser simulada. Convém no entanto ter em conta certas dificuldades técnicas: por exemplo as vantagens da exposição contínua na simulação das condições do ambiente podem ser contrariadas pela necessidade de alimentar e dar de beber aos animais e ainda pela necessidade de técnicas mais complicadas de produção de aerossóis e de vapores, bem como de monitorização.

Câmaras de exposição

Os animais serão expostos à substância a testar em câmaras de inalação concebidas de forma a conseguir-se um fluxo de ar dinâmico de pelo menos 12 renovações de ar por hora, uma concentração de oxigénio adequada e uma distribuição uniforme da substância a testar no ar. As câmaras de exposição e as câmaras de controlo serão idênticas quanto à construção e concepção a fim de garantirem condições de exposição comparáveis em todos os aspectos, com excepção da exposição à substância a testar. Geralmente mantém-se uma ligeira pressão negativa no interior da câmara para impedir fugas da substância a testar para a área envolvente. As câmaras deverão ser concebidas de forma a evitar a superlotação com os animais de experiência. Em geral, para assegurar a estabilidade da atmosfera da câmara, o volume total dos animais de experiência não deverá ultrapassar 5 % do volume da câmara de exposição.

Deverá ser feita a medição ou monitorização de:

- i) Débito do ar: o débito do ar na câmara deverá de preferência ser monitorizado continuamente;
- ii) Concentração: durante o período de exposição diária a concentração da substância a testar não deve variar mais do que $\pm 15\%$ em redor do valor médio. Durante toda a duração do estudo as concentrações diárias deverão ser mantidas o mais constantes possível;
- iii) Temperatura e humidade: para os roedores a temperatura deve ser mantida a $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) e a humidade dentro da câmara será de 30 % a 70 % excepto quando se utilizar água para colocar a substância a testar em suspensão na atmosfera das câmaras. Estes parâmetros serão de preferência monitorizados permanentemente;
- iv) Análise granulométrica das partículas: deverá efectuar-se uma repartição granulométrica das partículas nas atmosferas das câmaras onde se utilizem aerossóis líquidos ou sólidos. As partículas do aerossol deverão ter um diâmetro respirável para o animal de experiência utilizado. Serão retiradas amostras das atmosferas das câmaras de ensaio, na zona de respiração dos animais. A amostra de ar retirada deverá ser representativa da distribuição das partículas a que os animais são expostos e representará, numa base gravimétrica, o conjunto do aerossol em suspensão, mesmo se uma grande parte deste não for inalável. As análises granulométricas serão feitas frequentemente durante a elaboração do sistema gerador para assegurar a estabilidade do aerossol, sendo depois feitas tantas vezes quanto as necessárias durante as exposições para determinar de forma adequada a estabilidade das distribuições de partículas a que os animais foram expostos.

Duração do estudo

A duração de um estudo de carcinogénese compreende a maior parte da vida dos animais de experiência. O teste deve terminar aos 18 meses no ratinho e no hamster e aos 24 meses no rato; no entanto, no caso de algumas estirpes de animais com maior longevidade e/ou uma frequência baixa de tumores espontâneos, o fim deveria ser aos 24 meses no ratinho e no hamster e aos 30 meses no rato. Em alternativa, é aceitável terminar um estudo tão prolongado quando o número de sobreviventes do grupo tratado com a dose mais baixa ou do de controlo atingirem 25 %. Quando se terminar um teste em que exista uma diferença aparente na resposta consoante o sexo, deverá considerar-se cada sexo separadamente. Quando apenas os animais do grupo tratado com doses mais elevadas morrerem prematuramente por razões óbvias de toxicidade, não é necessário terminar a experiência na condição que as manifestações de toxicidade não causem problemas nos outros grupos. Para que um resultado negativo do teste seja aceitável é preciso que, por cada grupo, não haja mais de 10 % de animais perdidos devido a autólise, canibalismo ou por condições impróprias de alojamento e que a taxa de sobrevivência em todos os grupos não seja inferior a 50 % depois de 18 meses no caso do ratinho e do hamster e depois de 24 meses no caso do rato.

Procedimento

Observações

As observações diárias dos animais em cativeiro deverão incluir alterações da pele e do pêlo, dos olhos e membranas mucosas, bem como dos aparelhos respiratório e circulatório, dos sistemas nervosos autónomo e central, da actividade somatomotora e do comportamento.

É necessária uma observação regular dos animais para se evitar, tanto quanto possível, a perda de animais por causas como canibalismo, autólise dos tecidos ou condições impróprias de alojamento. Os animais moribundos serão imediatamente removidos e autopsiados.

As manifestações clínicas e a mortalidade de todos os animais serão registadas. Deverá tomar-se especial atenção à formação de tumores; deverão registar-se o momento do aparecimento, a localização, as dimensões, o aspecto e a progressão de todos os tumores nitidamente visíveis ou palpáveis.

Deverá determinar-se semanalmente o consumo alimentar (e o consumo de água, quando a substância a testar for administrada na água de beber) durante as primeiras 13 semanas de estudo e depois com intervalos de cerca

de três meses, excepto quando o estado de saúde dos animais ou o seu peso corporal justificarem outra frequência.

O peso corporal será determinado e registado individualmente uma vez por semana durante as 13 primeiras semanas do teste e depois pelo menos de quatro em quatro semanas.

Exames clínicos

Hematologia

Se as observações efectuadas durante o período de cativeiro indicarem uma deterioração do estado de saúde de alguns animais durante o estudo, deverá obter-se uma fórmula leucocitária dos animais afectados.

Deverá efectuar-se a todos os animais um esfregaço de sangue aos 12 meses, 18 meses e antes do sacrifício. Será efectuada uma fórmula leucocitária em amostras dos animais do grupo tratado com a dose mais elevada e dos controlos. Se estes resultados, em especial os obtidos antes do sacrifício ou os provenientes dos exames histopatológicos indicarem necessidade disso, serão obtidas fórmulas leucocitárias dos animais do(s) grupo(s) tratado(s) com a dose imediatamente inferior.

Autópsia

Todos os animais serão submetidos a uma autópsia geral, incluindo os que morreram no decurso da experiência ou que tenham sido sacrificados por se encontrarem moribundos. Deverão ser conservados todos os tumores ou lesões nitidamente visíveis e as lesões suspeitas de serem tumores.

Deverão ser conservados em meios adequados para um possível exame histopatológico ulterior os seguintes órgãos e tecidos: encéfalo (incluindo cortes da medula/protuberância, córtex cerebeloso, córtex cerebral), hipófise, tireoideia/paratiroideias, todo o tecido tímico, traqueia e pulmões, coração, aorta, glândulas salivares, fígado, baço, rins, supra-renais, pâncreas, gónadas, útero, órgãos genitais anexos, pele, esófago, estômago, duodeno, íleo, cego, cólon, recto, bexiga, gânglio linfático representativo, glândula mamária na fêmea, musculatura da coxa, nervo periférico, esterno com medula óssea, fémur (incluindo articulação), medula espinhal a três níveis (cervical, mediotorácico e lombar) e olhos.

A insuflação de um fixador nos pulmões e na bexiga constitui a melhor maneira de preservar estes tecidos; a insuflação dos pulmões nos estudos de inalação é essencial para um exame histopatológico apropriado. Nos estudos de inalação deve conservar-se toda a via respiratória, incluindo as fossas nasais, faringe e laringe.

Exames histopatológicos

- a) Serão submetidos a um exame histopatológico completo os órgãos e tecidos de todos os animais que morrerem ou forem sacrificados durante o teste, nos grupos tratados com a dose mais elevada e de controlo;
- b) Todos os tumores nitidamente visíveis ou as lesões suspeitas de serem tumores deverão ser examinadas microscopicamente, em todos os grupos;
- c) Se se observar uma diferença significativa na incidência de lesões neoplásicas entre o grupo tratado com a dose mais elevada e o de controlo, deverão ser efectuados exames histopatológicos a esses órgãos ou tecidos em particular nos outros grupos;
- d) Se a sobrevida no grupo tratado com a dose mais elevada for substancialmente inferior à do grupo de controlo, então deverá ser submetido a um exame completo o grupo tratado com a dose imediatamente inferior;
- e) Se no grupo exposto à dose mais elevada se observar uma indução de efeitos tóxicos ou outros susceptíveis de afectar a resposta neoplásica, deverá ser submetido a um exame completo o grupo tratado com a dose imediatamente inferior.

2. RESULTADOS

Os resultados deverão ser resumidos na forma de quadros, indicando para cada grupo da experiência o número de animais no início, o número de animais apresentando tumores detectados durante o teste, o momento da detecção e o número de animais em que se observaram tumores na autópsia. Os resultados serão avaliados com um método estatístico adequado. Poderá utilizar-se qualquer método estatístico reconhecido.

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO TESTE

O relatório do teste deverá incluir as seguintes informações:

- espécie, estirpe, origem, condições de ambiente, dieta,
- condições experimentais:

3.1.1. Descrição do sistema de exposição:

Incluindo concepção, tipo, dimensões, fonte de ar, sistema gerador de partículas e aerossóis, método de condicionamento do ar, tratamento do ar expirado e método de acondicionamento dos animais na câmara de exposição se esta for utilizada. Deverá ser descrito o equipamento utilizado para indicação da temperatura, humidade e, se necessário, estabilidade das concentrações do aerossol e granulometria.

3.1.2. Dados relativos à exposição:

Deverão ser apresentados na forma de quadros indicando as médias e uma medida de variação (por exemplo, o desvio-padrão) e deverão incluir:

- a) Os débitos do ar através do dispositivo de inalação;
 - b) A temperatura e a humidade do ar;
 - c) As concentrações nominais (quantidade total da substância a testar introduzida no dispositivo de inalação dividida pelo volume de ar);
 - d) Natureza do veículo, se utilizado;
 - e) Concentrações na zona de respiração;
 - f) Dimensões medianas das partículas (se necessário),
- doses (incluindo veículo, se utilizado) e concentrações,
 - incidência dos tumores por sexo, dose e tipo de tumor,
 - momento da morte durante o estudo ou indicação dos animais sobreviventes,
 - resposta tóxica por sexo e por dose,
 - descrição dos efeitos tóxicos e outros,
 - momento de observação das manifestações anormais e sua evolução subsequente,
 - dados relativos à alimentação e peso corporal,
 - resultados do exame hematológico,
 - resultados da autópsia,
 - descrição pormenorizada de todas as observações histopatológicas,

- tratamento estatístico dos resultados e descrição dos métodos utilizados,
- discussão dos resultados,
- interpretação dos resultados.

3.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

4. REFERÊNCIAS

Ver Introdução Geral, parte B.

B.33. TESTE COMBINADO DE TOXICIDADE CRÓNICA/CARCINOGÉNESE**1. MÉTODO****1.1. INTRODUÇÃO**

Ver Introdução Geral, parte B.

1.2. DEFINIÇÕES

Ver Introdução Geral, parte B.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Nenhuma.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

O objectivo de um estudo combinado da toxicidade crónica/carcinogénese é determinar os efeitos tóxicos e carcinogénicos de uma substância numa espécie mamífera, após uma exposição prolongada.

Com este fim, o teste de carcinogénese é completado com, pelo menos, um grupo-satélite tratado e um grupo satélite de controlo. A dose utilizada para o grupo satélite da dose mais elevada pode ser superior à do grupo tratado com a dose mais elevada no teste de carcinogénese. Os animais no estudo de carcinogénese são examinados do ponto de vista da toxicidade geral bem como da resposta carcinogénica. Os animais do grupo-satélite tratado são examinados do ponto de vista da toxicidade geral.

A substância a testar é administrada sete dias por semana, pela via apropriada, a vários grupos de animais de experiência, à razão de uma dose por grupo durante a maior parte da sua vida. Durante e depois da exposição à substância a testar observam-se diariamente os animais de experiência para se detectar manifestações de toxicidade e o aparecimento de tumores.

1.5. CRITÉRIOS QUALITATIVOS

Nenhum.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

Os animais são mantidos nas condições de alojamento e de alimentação da experiência, durante pelo menos cinco dias antes do teste. Antes do início do teste os animais jovens e são são distribuídos ao acaso pelos grupos submetidos ao tratamento e de controlo.

Animais de experiência

A espécie preferida é o rato. Podem utilizar-se outras espécies (roedores ou não roedores) de acordo com os resultados de estudos anteriores. Devem utilizar-se animais jovens e são de estirpes correntes de laboratório e o tratamento deve começar o mais cedo possível após de desmame.

No início da experiência a diferença de peso entre os animais não deverá ultrapassar $\pm 20\%$ do peso médio. Se um estudo de toxicidade subcrónica-oral tiver constituído a fase preliminar de um estudo a longo prazo, deve utilizar-se a mesma espécie e estirpe em ambos os estudos.

Número e sexo

No caso dos roedores serão utilizados pelo menos 100 animais (50 fêmeas e 50 machos) para cada dose e grupo de controlo correspondente. As fêmeas deverão ser nulíparas e não grávidas. Se estiver previsto o sacrifício de animais no decurso da experiência os efectivos devem ser aumentados do número de animais cujo sacrifício estiver previsto.

O(s) grupo(s)-satélite(s) tratado(s) para a avaliação de efeitos patológicos diferentes de tumores deverá(deverão) conter 20 animais de cada sexo, enquanto o grupo-satélite de controlo deverá conter 10 animais de cada sexo.

Doses e frequência de exposição

Para o estudo da carcinogénese devem utilizar-se pelo menos três doses, além do grupo de controlo correspondente. A dose máxima deverá produzir manifestações mínimas de toxicidade, como um ligeiro decréscimo da progressão de peso (menos de 10 %) sem alterar substancialmente o tempo de vida normal devido a efeitos diferentes de tumores.

A dose mínima não deverá interferir com o crescimento normal, desenvolvimento e longevidade do animal ou produzir qualquer efeito tóxico. Em geral não deverá ser inferior a 10 % da dose máxima.

A(s) dose(s) intermédia(s) terá(terão) um valor próximo da média entre a dose máxima e a dose mínima.

Os níveis da dose deverão ter em conta os dados obtidos nos ensaios e estudos de toxicidade efectuados anteriormente.

Para o estudo de toxicidade crónica, serão incluídos no estudo outros grupos tratados bem como grupos-satélite de controlo correspondentes. A dose máxima administrada aos grupos-satélite tratados deverá produzir sinais claros de toxicidade.

A frequência de exposição é, normalmente, diária.

Se a substância química for administrada na água de beber ou incorporada na dieta deve encontrar-se constantemente disponível.

Controlos

Deverá utilizar-se um grupo de controlo idêntico em todos os aspectos aos grupos tratados, com excepção da exposição à substância a testar.

Em condições especiais como em estudos por inalação implicando o emprego de aerossóis ou o uso de um emulsionante com actividade biológica não estudada em ensaios por via oral, deverá utilizar-se um grupo suplementar de controlo que não seja exposto ao veículo.

Via de administração

As três vias principais de administração são a oral, a cutânea e por inalação. A escolha da via de administração depende das características físico-químicas da substância a testar e da via mais provável de exposição humana.

Estudos por via oral

A via oral de administração é preferida, salvo contra-indicações, se a substância a testar for absorvida pelo tubo digestivo e se a ingestão for uma via possível de exposição humana. Os animais podem receber a substância a testar na dieta, dissolvida na água de beber ou em cápsulas.

Em condições ideais, a dose diária será administrada sete dias em cada sete, visto que a administração em cinco dias por cada sete pode permitir a recuperação do animal ou a diminuição de toxicidade no período em que o tratamento é interrompido e assim afectar os resultados e a avaliação subsequente. No entanto, por razões essencialmente práticas, considera-se aceitável a administração cinco dias por semana.

Estudos por via cutânea

A exposição cutânea por aplicação com pincel na pele pode ser escolhida para simular uma via principal de exposição humana e também como modelo experimental para a indução de lesões cutâneas.

Estudos de inalação

Uma vez que os estudos de inalação colocam problemas técnicos de maior complexidade do que os por outras vias de administração, são dadas aqui recomendações mais pormenorizadas. Deve notar-se que a instalação endotraqueal pode constituir uma alternativa válida em certas situações específicas.

As exposições prolongadas (de longo prazo) são habitualmente calculadas em função da exposição humana prevista: os animais são expostos cinco dias em cada sete (exposição intermitente) à razão de seis horas por dia depois de se obterem as concentrações na câmara de experiência ou expostos sete dias em cada sete (exposição contínua) à razão de 22 a 24 horas por dia, destinando-se uma hora por dia à alimentação dos animais, segundo um horário regular, e à manutenção das câmaras. Em ambos os casos os animais são habitualmente expostos a uma concentração fixa da substância a testar, mas a diferença essencial entre a exposição intermitente e a contínua reside no facto de na primeira os animais disporem de um período de 17 a 18 horas para recuperar dos efeitos da exposição diária e mesmo de um período mais longo, durante os fins-de-semana.

A escolha entre a exposição intermitente ou contínua será feita em função dos objectivos do estudo e da exposição humana que deve ser simulada. Convém, no entanto, ter em conta certas dificuldades técnicas: por exemplo, as vantagens da exposição contínua na simulação das condições do ambiente podem ser contrariadas pela necessidade de alimentar e dar de beber aos animais e ainda pela necessidade de técnicas mais complicadas de produção de aerossóis e de vapores bem como de monitorização.

Câmaras de exposição

Os animais não expostos à substância a testar em câmaras de inalação concebidas de forma a conseguir-se um fluxo de ar dinâmico de pelo menos doze renovações de ar por hora, uma concentração de oxigénio adequada e uma distribuição uniforme da substância a testar no ar. As câmaras de exposição e as câmaras de controlo serão idênticas quanto à construção e concepção, a fim de garantirem condições de exposição comparáveis em todos os aspectos, com excepção da exposição à substância a testar. Geralmente mantém-se uma ligeira pressão negativa no interior da câmara para impedir fugas da substância a testar para a área envolvente. As câmaras deverão ser concebidas de forma a evitar a superlotação com os animais de experiência. Em geral, para assegurar a estabilidade da atmosfera da câmara, o volume total dos animais de experiência não deverá ultrapassar 5 % do volume da câmara de exposição.

Deverá ser feita a medição ou monitorização de:

- i) Débito de ar: o débito de ar na câmara deverá, de preferência, ser monitorizado continuamente;
- ii) Concentração: durante o período de exposição diária a concentração da substância a testar não deve variar mais do que $\pm 15\%$ em redor do valor médio;
- iii) Temperatura e humidade: para os roedores a temperatura deve ser mantida a $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) e a humidade dentro da câmara será de 30 % a 70 % excepto quando se utilizar água para colocar a substância testada em suspensão na atmosfera da câmara. Estes parâmetros serão, de preferência, monitorizados permanentemente;
- iv) Análise granulométrica das partículas: deverá efectuar-se uma distribuição granulométrica das partículas nas atmosferas das câmaras onde se utilizam aerossóis líquidos ou sólidos. As partículas do aerossol deverão ter um diâmetro respirável para o animal de experiência utilizado. Serão retiradas amostras das atmosferas das câmaras de ensaio na zona de respiração dos animais. A amostra de ar retirada deverá ser representativa da distribuição das partículas a que os animais são expostos e representará, numa base gravimétrica, o conjunto do aerossol em suspensão, mesmo se uma grande parte deste não for inalável. As análises granulométricas serão feitas frequentemente durante a elaboração do sistema gerador para assegurar a estabilidade do aerossol sendo depois feitas tantas vezes quanto as necessárias durante as exposições para determinar de forma adequada a estabilidade das distribuições de partículas a que os animais foram expostos.

Duração do estudo

A duração da parte dedicada a carcinogénese compreende a maior parte da vida dos animais de experiência. O teste deve terminar aos 18 meses no ratinho e hamster e aos 24 meses no rato; no entanto, no caso de algumas estirpes de animais com maior longevidade e/ou uma frequência baixa de tumores espontâneos o fim deveria ser aos 24 meses no ratinho e no hamster e aos 30 meses no rato. Em alternativa, é aceitável terminar um estudo tão prolongado quando o número de sobreviventes do grupo tratado com a dose mais baixa ou do de controlo atingirem 25 %. Quando se terminar um teste em que exista uma diferença aparente na resposta consoante o sexo, deverá considerar-se cada sexo separadamente. Quando apenas animais do grupo tratado com a dose mais elevada morrerem prematuramente por razões óbvias de toxicidade não é necessário terminar a experiência, na condição de que as manifestações de toxicidade não causem problemas nos outros grupos. Para que um resultado negativo de um teste seja aceitável é preciso que, por cada grupo, não haja mais de 10 % de animais perdidos devido a autólise, canibalismo ou problemas de manutenção e que a taxa de sobrevivência em todos os grupos não seja inferior a 50 % depois de 18 meses no caso do ratinho e do hamster e depois de

24 meses no caso do rato.

Os grupos-satélite de 20 animais tratados por sexo e os 10 animais de controlo por sexo associados, utilizados para o teste da toxicidade crónica, deverão ser conservados no estudo durante 12 meses pelo menos. Estes animais deverão ser escalados para sacrifício para uma avaliação da patologia relacionada com a substância a testar, não complicada por alterações geriátricas.

Procediment

Observações

As observações diárias dos animais em cativeiro deverão incluir alterações da pele e do pêlo, olhos e membranas mucosas, bem como dos aparelhos respiratório e circulatório, dos sistemas nervosos autónomo e central, da actividade somatomotora e do comportamento.

Os exames clínicos deverão ser efectuados com intervalos adequados aos animais dos grupos satélite tratados.

É necessário uma observação regular dos animais para se evitar, tanto quanto possível, a perda de animais por causas como o canibalismo, autólise dos tecidos ou condições impróprias de alojamento. Os animais moribundos serão imediatamente removidos e autopsiados.

As manifestações clínicas, incluindo alterações neurológicas e oculares, bem como a mortalidade de todos os animais, serão registadas. Deverá tomar-se especial atenção à formação de tumores; deverão registar-se o momento do aparecimento, a localização, as dimensões, o aspecto e a progressão de todos os tumores nitidamente visíveis ou palpáveis. O início e a progressão das manifestações tóxicas devem ser registados.

Deverá determinar-se semanalmente o consumo alimentar (e o consumo de água, quando a substância a testar for administrada na água de beber), durante as primeiras 13 semanas de estudo e depois com intervalos de cerca de três meses, excepto quando o estado de saúde dos animais ou o seu peso corporal indicarem a necessidade de outra frequência.

O peso corporal será determinado e registado individualmente em todos os animais uma vez por semana durante as 13 primeiras semanas do teste e depois pelo menos de quatro em quatro semanas.

Exames clínicos

Hematologia

Deverá ser efectuado um exame hematológico (por exemplo, concentração de hemoglobina, hematócrito, número total de eritrócitos, número total de leucócitos, plaquetas ou outros testes de coagulação) aos três meses, aos seis meses, e em seguida a intervalos de seis meses e no fim da experiência, em amostras de sangue recolhidas de 10 ratos/sexo de cada grupo. Se possível, as amostras deveriam ser colhidas de cada vez nos mesmos ratos.

Se as observações efectuadas durante o período de cativeiro indicarem uma deterioração do estado de saúde de alguns animais durante o estudo, deverá obter-se uma fórmula leucocitária dos animais afectados. Deverá obter-se uma fórmula leucocitária em amostras de sangue dos animais do grupo tratado com a dose mais elevada e dos controlos. Serão obtidas fórmulas no(s) grupo(s) tratado(s) com doses inferiores apenas no caso de se verificar uma grande discrepância entre o grupo tratado com a dose mais alta e os controlos, ou se indicado pelos achados patológicos.

Análise de urina

Serão colhidas amostras de urina para análise em 10 ratos/sexo de todos os grupos; estas análises serão feitas, se possível, na mesma altura dos exames hematológicos. Deverão ser efectuadas as seguintes determinações, em cada animal individualmente ou, no caso dos roedores, numa *pool* de urina do mesmo grupo e do mesmo sexo:

- aspecto: volume e densidade para os animais tomados individualmente,
- proteínas, glicose, corpos cetónicos, sangue oculto (semiquantitativamente),
- microscopia do sedimento urinário (semiquantitativamente).

Bioquímica clínica

De seis em seis meses e no fim do estudo colher-se-ão amostras de sangue para determinações bioquímicas clínicas de todos os não roedores e a 10 ratos/sexo de todos os grupos e, se possível, sempre dos mesmos ratos de cada vez. Além disso, será recolhida uma amostra pré-teste dos não roedores. O plasma preparado a partir destas amostras será utilizado para as seguintes determinações:

- concentração de proteínas totais,
- concentração de albumina,
- provas de função hepática (tais como a actividade da fostatase alcalina, actividade da transaminase glutâmico-pirúvica ⁽¹⁾ e da transaminase glutâmico-oxaloacética ⁽²⁾, gama-glutamyl transpeptidase, ornitina-descarboxilase,
- metabolismo dos hidratos de carbono como uma glicémia em jejum,
- testes da função renal como a ureia sanguínea.

Gross necropsy

Full gross necropsy should be performed in all animals, including those which died during the experiment or were sacrificed having been found in a moribund condition. Prior to sacrifice, samples of blood should be collected from all animals for differential blood counts. All grossly visible tumours or lesions suspected of being tumours should be preserved. An attempt should be made to correlate gross observations with the microscopic findings.

All organs and tissues should be preserved for histopathological examination. This usually concerns the following organs and tissues: brain ⁽³⁾ (medulla/pons, cerebellar cortex, cerebral cortex); pituitary, thyroid (including parathyroid), thymus, lungs (including trachea), heart, aorta, salivary glands, liver ⁽³⁾, spleen, kidneys ⁽³⁾, adrenals ⁽³⁾, oesophagus, stomach, duodenum, jejunum, ileum, caecum, colon, rectum, urinary bladder, lymph nodes, pancreas, gonads ⁽³⁾, accessory genital organs; female mammary gland, skin, musculature, peripheral nerve, spinal cord (cervical, thoracic, lumbar), sternum with bone marrow and femur (including joint) and eyes.

Although inflation of lungs and urinary bladder with a fixative is the optimal way to preserve these tissues, inflation of the lungs in inhalation studies is a necessary requirement for appropriate histopathological examination. In special studies such as inhalation studies, the entire respiratory tract should be studied, including nose, pharynx and larynx.

If other clinical examinations are carried out, the information obtained from these procedures should be available before microscopic examination, because it may give significant guidance to the pathologist.

Histopathology

For the chronic toxicity testing portion:

Detailed examination should be made of all preserved organs of all animals of the satellite high-dose and control groups. Where test-substance-related pathology is found in the high-dose satellite group, target organs of all other animals in any other treated satellite group should be subjected to full and detailed histological examination as well as those of the heated groups in the carcinogenicity testing portion of the study at its termination.

For the carcinogenicity testing portion:

- (a) Full histopathology should be carried out on the organs and tissues of all animals that died or were sacrificed during the test, and of all animals in the control and high-dose groups;

⁽¹⁾ Designada actualmente por transaminase da alamina.

⁽²⁾ Designada actualmente por transaminase da aspartato.

⁽³⁾ These organs, from 10 animals per sex per groups for rodents, should be weighed.

- (b) All grossly visible tumours or lesions suspected of being tumours in all groups occurring in any organ should be examined microscopically;
- (c) If there is a significant difference in the incidence of neoplastic lesions in the high-dose and control groups, histopathology should be carried out on that particular organ or tissue in the other groups;
- (d) If the survival of the high-dose group is substantially less than the control then the next-lower dose group should be examined fully;
- (e) If there is evidence in the high-dose group of the induction of toxic or other effects that might affect a neoplastic response, the next-lower dose level should be examined fully.

2. DATA

Data should be summarised in tabular form, showing for each test group the number of animals at the start of the test, the number of animals showing tumours or toxic effects detected during the test, the time of detection and the number of animals found to have tumours following sacrifice. Results should be evaluated by an appropriate statistical method. Any recognised statistical method may be used.

3. REPORTING

3.1. TEST REPORT

The test report shall, if possible, contain the following information:

- species, strain source, environmental conditions, diet,
- condições experimentais:

3.1.1. Descrição do dispositivo de exposição:

incluindo concepção, tipo, dimensões, fonte de ar, sistema gerador de partículas e aerossóis, método de condicionamento de ar, tratamento do ar expirado, e o modo de acondicionamento dos animais na câmara de exposição, quando utilizada. Deverá ser descrito o equipamento para a medição de temperatura, da humidade e, se necessário, da estabilidade da concentração ou a granulometria das partículas;

3.1.2. Dados relativos à exposição:

Estes deverão ser apresentados na forma de quadros indicando as médias e uma medida de variação (por exemplo, o desvio-padrão) e deverão incluir:

- a) Os débitos do ar através do dispositivo de inalação;
- b) A temperatura e a humidade do ar;
- c) As concentrações nominais (quantidade total da substância a testar introduzida no dispositivo de inalação dividida pelo volume de ar);
- d) Natureza do veículo, se utilizado;
- e) Concentrações na zona de respiração;
- f) Dimensões médias das partículas (se necessário);
- doses (incluindo veículo, se utilizado) e concentrações,

- incidência dos tumores por sexo, dose e tipo de tumor,
- momento da morte durante o estudo ou indicação dos animais sobreviventes, incluindo o grupo-satélite,
- resposta tóxica, por sexo e por dose,
- descrição dos efeitos tóxicos e outros,
- momento de observação das manifestações anormais e sua evolução subsequente,
- observações oftalmológicas,
- dados relativos à alimentação e peso corporal,
- testes hematológicos utilizados e todos os seus resultados,
- testes bioquímicos clínicos empregados e todos os seus resultados (incluindo todas as análises de urina),
- resultados da autópsia,
- descrição pormenorizada de todas as observações histopatológicas,
- tratamento estatístico dos resultados e descrição dos métodos utilizados,
- discussão dos resultados,
- interpretação dos resultados.

3.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

4. REFERÊNCIAS

Ver Introdução Geral, parte B.

B.34. TESTE DE TOXICIDADE SOBRE A REPRODUÇÃO EM UMA GERAÇÃO**1. MÉTODO****1.1. INTRODUÇÃO**

Ver Introdução Geral, parte B.

1.2. DEFINIÇÕES

Ver Introdução Geral, parte B.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Nenhuma.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Administra-se a substância a testar em várias doses graduais a vários grupos de animais, machos e fêmeas. Os machos deverão ser tratados durante o crescimento e pelo menos um ciclo espermatogénico completo (cerca de 56 dias no ratinho e 70 dias no rato) de forma a que a substância testada provoque um efeito nocivo eventual na espermatogénese.

As fêmeas da geração progenitora (P) deverão ser tratadas durante pelo menos dois ciclos do estro para permitir que a substância testada provoque alguns efeitos nocivos no estro. Os animais são em seguida acasalados. Administra-se a substância testada aos animais de ambos os sexos durante o período de acasalamento, e depois unicamente às fêmeas durante a gestação e o período de aleitamento. Se se administrar a substância por inalação será necessário modificar-se o método.

1.5. CRITÉRIOS QUALITATIVOS

Nenhum.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO*Preparativos*

Antes do ensaio, os animais adultos jovens e são são distribuídos ao acaso pelos grupos tratados e de controlo. Os animais são mantidos nas condições de alojamento e alimentação da experiência pelo menos durante cinco dias antes do início do teste. Recomenda-se a administração da substância a testar na alimentação ou na água de beber. Podem aceitar-se igualmente outras vias de administração. Deve utilizar-se o mesmo método de administração em todos os animais e durante toda a experiência. Se for utilizado um veículo ou outros aditivos para facilitar a administração devem estes ser comprovadamente isentos de efeitos tóxicos. O tratamento deverá ser efectuado durante os sete dias da semana.

*Animais de experiência**Seleção da espécie*

As espécies preferidas são o rato ou o ratinho. Devem utilizar-se animais são, não sujeitos a experiências anteriores. As estirpes com taxas de fecundidade baixa não deverão ser utilizadas. Serão especificadas a espécie, a estirpe, o sexo, o peso e/ou a idade dos animais de experiência.

Para avaliar a fecundidade de modo adequado deverão ser estudados tanto machos como fêmeas. Todos os animais tratados e de controlo deverão estar desmamados antes do início do tratamento.

Número e sexo

Cada grupo tratado e cada grupo de controlo deve comportar um número de animais suficientes para obter cerca de 20 fêmeas grávidas de termo ou próximas deste.

O objectivo é a obtenção de um número de gestações e de ninhadas suficientes para permitir uma avaliação significativa do efeito da substância sobre a fecundidade, a gestação, o comportamento maternal dos animais da geração P bem como o aleitamento, o crescimento e o desenvolvimento da geração F₁ desde a concepção até ao desmame.

Condições experimentais

A alimentação e a água serão fornecidas *ad libitum*. Quando as fêmeas grávidas estiverem próximas do termo deverão ser colocadas em gaiolas individuais de parto ou de maternidade podendo ser-lhes fornecidos os materiais de nidificação necessários.

Doses

Devem utilizar-se pelo menos três grupos tratados e um grupo de controlo. Se for utilizado um veículo para a administração da substância a testar, o grupo de controlo deverá receber o volume máximo de veículo que tenha sido utilizado. Se uma substância testada causar diminuição da ingestão de alimentos e da sua assimilação, pode tornar-se necessário um grupo de controlo negativo. Nas condições ideais, a não ser que existam limitações devidas à natureza físico-química ou efeitos biológicos da substância testada, a dose máxima deverá produzir um efeito tóxico mas não a morte dos animais progenitores (P). A(s) dose(s) intermédia(s) deverá(ão) induzir os efeitos tóxicos mínimos atribuíveis à substância a testar e a dose mínima não deverá produzir nenhum efeito nocivo observável nos progenitores ou na sua descendência. Quando a substância for administrada por *gavage* ou cápsula, a dose administrada a cada animal deverá ser calculada em função do peso corporal de cada um e ajustada semanalmente, tendo em conta modificações desse peso. No caso das fêmeas durante a gravidez, as doses podem ser calculadas em função do peso corporal no dia 0 ou 6, se desejado.

Teste limite

No caso de substâncias pouco tóxicas, se uma dose de pelo menos 1 000 mg/kg de peso não provocar nenhuns sinais de interferência com a capacidade de reprodução, podem considerar-se desnecessários estudos com outras doses. Se um estudo preliminar da dose máxima, com toxicidade materna evidente, não mostrar efeitos nocivos na fertilidade, poderão considerar-se desnecessários estudos com outras doses.

Procedimentos do teste

Plano de experiência

A substância a testar deverá ser administrada diariamente aos machos progenitores (P) assim que atingirem a idade de cinco a nove semanas depois do desmame e de um período de adaptação de, pelo menos, cinco dias. Nos ratos o tratamento é prosseguido durante 10 semanas antes do período de acasalamento (nos ratinhos durante oito semanas). Os machos deverão ser sacrificados e examinados ou no fim do período de acasalamento ou em alternativa mantidos vivos prosseguindo-se com a administração da substância na comida, com vista à produção eventual de uma segunda ninhada, devendo neste caso ser sacrificados e examinados um pouco antes do fim do estudo. No caso das fêmeas (P) o tratamento deverá começar depois de, pelo menos, cinco dias de adaptação e ser prosseguido durante, pelo menos, duas semanas antes do acasalamento. As fêmeas P deverão continuar a receber o seu tratamento diário durante as três semanas do período de acasalamento e gestação até ao desmame dos filhos F₁. Poderão admitir-se modificações do esquema de administração no caso de se disporem de outras informações sobre a substância testada, como a indução do metabolismo ou bioacumulação.

Processo de acasalamento

Nos estudos de toxicidade sobre a reprodução, os acasalamentos poderão ser feitos seja 1:1 (um macho com uma fêmea) seja 1:2 (um macho com duas fêmeas).

No caso de um acasalamento 1:1 deve colocar-se a fêmea sempre com o mesmo macho até ficar grávida ou durante três semanas. Deverão examinar-se as fêmeas todas as manhãs para verificar a presença de esperma ou de rolhão vaginal. O dia 0 da gestação é definido como o dia em que se verifique a presença de rolhão vaginal ou de esperma.

Os casais em que o acasalamento não tiver sucesso devem ser avaliados para determinar as causas da aparente esterilidade.

Isto pode implicar procedimentos como novo acasalamento com animais que já tenham procriado, proceder a um exame microscópico dos órgãos de reprodução ou ao exame do ciclo do estro ou da espermatogénese.

Número de animais por ninhada

Permite-se que os animais usados no estudo de fertilidade dêem à luz normalmente e criem a sua descendência até ao desmame sem homogeneização das ninhadas.

Se se fizer uma homogeneização das ninhadas sugere-se o seguinte método: entre o dia 1 e o dia 4 depois do nascimento, o número de animais por ninhada pode ser ajustado eliminando-se por selecção as crias suplementares a fim de obter, na medida do possível, quatro fêmeas e quatro machos por ninhada.

Se o número de machos e de fêmeas não permitir obter quatro crias de cada sexo por ninhada pode aceitar-se um ajustamento parcial (por exemplo cinco machos e três fêmeas). Não são possíveis ajustamentos nas ninhadas com menos de oito crias.

Observações

Deve observar-se cada animal pelo menos uma vez por dia durante todo o período do ensaio. Deverão registar-se as modificações de comportamento significativas, sinais de parto difícil ou prolongado, bem como qualquer sinal de toxicidade incluindo a mortalidade. Durante os períodos de pré-acasalamento e acasalamento deve determinar-se diariamente o consumo alimentar. Depois do parto e durante o aleitamento deverá determinar-se o consumo alimentar (e o consumo de água quando o teste da substância for administrado na água para beber) no dia de se pesarem as crias. Os machos e fêmeas progenitores deverão ser pesados no primeiro dia do tratamento e, em seguida, uma vez por semana. Estas observações serão registadas individualmente para cada animal adulto.

Calcula-se a duração da gestação a partir do dia 0 da gravidez. Cada ninhada deverá ser examinada o mais cedo possível, após o parto, para se determinar o número e o sexo das crias, os nado-mortos, os nado-vivos e a presença de anomalias macroscópicas.

As crias mortas e as crias sacrificadas no dia 4 deverão ser conservadas e examinadas para detectar eventuais anomalias. Devem contar-se as crias vivas e pesar as ninhadas na manhã após o nascimento, bem como no 4.º e 7.º dias e, em seguida, semanalmente até ao fim do estudo, sendo os animais nessa altura pesados individualmente.

Deverão ser registadas as alterações físicas ou de comportamento nos progenitores do sexo feminino e na sua descendência.

Patologia

Autópsia

No momento do sacrifício ou da morte, no decurso do estudo, os animais da geração P deverão ser examinados macroscopicamente para se detectar qualquer anomalia estrutural ou alteração patológica, dedicando-se uma atenção especial aos órgãos do aparelho reprodutor. Devem procurar-se eventuais malformações nas crias mortas ou moribundas.

Histopatologia

Devem conservar-se para exame microscópico os ovários, o útero, o colo uterino, a vagina, os testículos, os epidídimos, as vesículas seminais, a próstata, a glândula coagulante, a hipófise e o(s) órgão(s)-alvo de todos os animais P. No caso de estes órgãos não terem sido examinados noutros estudos com doses repetidas, deverão ser feitos exames histológicos a todos os animais do grupo tratados com dose mais elevada, do grupo de controlo e aos animais mortos durante o estudo, quando tal for praticável.

Os órgãos que apresentarem alterações nestes animais serão também examinados em todos os outros animais P. Neste caso deverá efectuar-se um exame microscópico de todos os tecidos que apresentarem alterações patológicas macroscópicas. Como foi já sugerido no procedimento para o acasalamento, os órgãos reprodutores dos animais suspeitos de esterilidade poderão ser submetidos a um exame microscópico.

2. RESULTADOS

Os resultados podem ser resumidos em quadros, indicando para cada grupo experimental o número de animais no início do estudo, o número de machos férteis, o número de fêmeas grávidas, os diversos tipos de alterações, e a percentagem de animais apresentando cada tipo de alteração.

Se possível, os resultados numéricos deverão ser avaliados com um método estatístico apropriado. Pode ser utilizado qualquer método estatístico reconhecido.

3. **RELATÓRIO**

3.1. RELATÓRIO DO TESTE

O relatório do teste deverá também incluir as seguintes informações:

- espécie/estirpe utilizada,
- resposta tóxica por sexo e por dose, incluindo fertilidade, gestação e viabilidade,
- momento da morte no decurso do estudo ou indicação dos animais sobreviventes no fim do estudo,
- quadro apresentando os pesos de cada ninhada, o peso médio das crias e os pesos individuais das crias no fim do estudo,
- efeito tóxico ou outro sobre a reprodução, a descendência e o crescimento pós-natal,
- dia da observação de qualquer manifestação anormal e sua evolução subsequente,
- peso corporal dos animais P,
- resultados da autópsia,
- descrição pormenorizada das observações microscópicas,
- tratamento estatístico dos resultados, se necessário,
- discussão dos resultados,
- interpretação dos resultados.

3.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

4. **REFERÊNCIAS**

Ver Introdução Geral, parte B.

B.35. ESTUDO DE TOXICIDADE SOBRE A REPRODUÇÃO EM DUAS GERAÇÕES**1. MÉTODO**

O presente método baseia-se na publicação OECD TG 416 (2001) (normas de ensaio da OCDE).

1.1. INTRODUÇÃO

O presente método de ensaio de toxicidade sobre a reprodução em duas gerações destina-se a fornecer informação geral sobre os efeitos de uma substância de ensaio na integridade e no desempenho dos sistemas reprodutores de machos e fêmeas, incluindo a função gonadal, o ciclo do estro, o comportamento de acasalamento, a concepção, a gestação, a parturição, a lactação e o desmame, bem como sobre o crescimento e o desenvolvimento dos descendentes. O estudo pode também dar informações sobre os efeitos da substância de ensaio na morbilidade e na mortalidade neonatais e fornecer dados preliminares relativos à toxicidade sobre o desenvolvimento pré-natal e pós-natal, podendo ainda servir de guia para ensaios subsequentes. Além de estudar o crescimento e o desenvolvimento da geração F_1 , este método de ensaio destina-se também a avaliar a integridade e o desempenho dos sistemas reprodutores dos machos e fêmeas dessa geração, bem como o crescimento e o desenvolvimento da geração F_2 . Caso seja necessário obter informações suplementares relativas à toxicidade sobre o desenvolvimento e às deficiências de desempenho, o presente protocolo pode ser complementado pela introdução de partes de outros estudos descritos em métodos para avaliar a toxicologia sobre o desenvolvimento e/ou a neurotoxicidade sobre o desenvolvimento, conforme o caso; em alternativa, aqueles tópicos podem ser investigados em estudos independentes, com recurso aos métodos de ensaio adequados.

1.2. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

A substância de ensaio é administrada em doses graduais a vários grupos de machos e fêmeas. Os machos da geração P devem ser tratados durante o crescimento e durante pelo menos um ciclo espermatogénico completo (cerca de 56 dias no ratinho e 70 dias no rato), de forma a permitir a detecção de quaisquer efeitos nocivos na espermatogénese. Os efeitos sobre os espermatozoides são determinados por uma série de parâmetros (por exemplo, morfologia e mobilidade) e por exame histopatológico detalhado de preparações de tecidos. Caso tenham sido previamente realizados estudos de dose repetida de duração adequada (por exemplo, um estudo de 90 dias) que forneçam dados sobre a espermatogénese, não será necessário incluir os machos da geração P na avaliação. No entanto, recomenda-se que sejam guardadas amostras ou gravações digitais do esperma da geração P para possibilitar uma avaliação posterior. As fêmeas da geração P devem ser tratadas durante o crescimento e durante vários ciclos estrais completos, para permitir a detecção de quaisquer efeitos adversos causados pela substância de ensaio na normalidade do ciclo do estro. A substância de ensaio é administrada aos animais progenitores (P) durante o acasalamento, durante os períodos de gravidez resultantes e até ao desmame da descendência F_1 . Nesta altura, a substância de ensaio passa a ser administrada aos descendentes F_1 , que a deverão receber durante o crescimento até à idade adulta, o acasalamento e a produção da geração F_2 , até ao desmame da geração F_2 .

Todos os animais devem ser objecto de observações clínicas e exames patológicos para se detectarem sinais de toxicidade, devendo dedicar-se atenção especial aos efeitos sobre a integridade e o desempenho dos sistemas reprodutores masculino e feminino, bem como aos efeitos sobre o crescimento e o desenvolvimento da descendência.

1.3. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO**1.3.1. Selecção da espécie animal**

A espécie preferida para ensaio é o rato. Caso se utilizem outras espécies, será necessário justificar o seu emprego e introduzir no método de ensaio as modificações apropriadas. Deve evitar-se a utilização de estirpes de fecundidade baixa ou em que se verifique frequentemente uma incidência elevada de deficiências de desenvolvimento. No início do estudo, a diferença de peso entre os animais deverá ser mínima, não podendo ultrapassar 20 % do peso médio de cada sexo.

1.3.2. Condições de alojamento e alimentação

A temperatura do compartimento experimental dos animais deve ser de 22 °C (± 3 °C). A humidade relativa deverá ser de 50 %-60 %, embora sejam aceitáveis valores entre um mínimo de 30 % e um máximo que, preferivelmente, não deverá exceder 70 %, salvo durante os períodos de limpeza do compartimento. A iluminação deve ser artificial, com sequências de 12 horas de luz e 12 horas de escuridão. A alimentação pode basear-se em dietas de laboratório convencionais, com fornecimento ilimitado de água para beber. Quando a substância de ensaio for administrada pela alimentação, a escolha da dieta poderá ser condicionada pela necessidade de assegurar a dosagem adequada.

Os animais podem ser alojados individualmente ou em pequenos grupos do mesmo sexo. O acasalamento deve ocorrer em gaiolas adequadas para o efeito. Quando houver sinais de cópula, as fêmeas acasaladas devem ser colocadas em gaiolas individuais de parto ou de maternidade. Em alternativa, os ratos acasalados podem ser mantidos em grupos pequenos, separando-se apenas um ou dois dias antes do parto. As fêmeas grávidas próximas do termo devem dispor dos materiais de nidificação apropriados e reconhecidos.

1.3.3. Preparação dos animais

Devem usar-se animais jovens e saudáveis, que tenham permanecido nas condições experimentais durante pelo menos cinco dias antes do ensaio para aclimação e que não tenham sido sujeitos a experiências anteriores. Os animais de ensaio devem ser caracterizados no que respeita à espécie, estirpe, proveniência, sexo, peso e/ou idade. Devem conhecer-se as relações de parentesco directo entre os animais, de modo a evitar o acasalamento entre irmãos. Os animais devem ser distribuídos ao acaso pelos grupos de controlo e de tratamento (recomenda-se a estratificação por peso corporal). As gaiolas devem ser dispostas de forma a minimizar possíveis efeitos derivados do seu posicionamento. Cada animal deve receber um número de identificação individualizado. Estes procedimentos devem ser levados a efeito antes do início da dosagem dos animais da geração P e por ocasião do desmame dos animais da geração F₁ seleccionados para acasalamento. Devem manter-se registos da ninhada de origem de todos os animais seleccionados da geração F₁. Quando o ensaio envolve pesagem individual das crias ou quaisquer testes de desempenho, as crias devem ser identificadas individualmente o mais cedo possível depois do nascimento.

No início da dosagem, os animais progenitores (P) devem ter cerca de cinco a nove semanas de idade. Os animais de todos os grupos de ensaio deverão ser, tanto quanto possível, uniformes quanto ao peso e à idade.

1.4. PROCEDIMENTO

1.4.1. Número e sexo dos animais

Cada grupo de ensaio e controlo deve comportar um número de animais suficiente para que se obtenham preferivelmente 20 ou mais fêmeas grávidas de termo ou próximas deste. Nos casos em que se utilizem substâncias que causam efeitos indesejáveis relacionados com o tratamento (por exemplo, esterilidade, toxicidade excessiva na dose mais elevada), poderá não ser possível cumprir este requisito. O objectivo é a obtenção de um número de fêmeas grávidas suficiente para garantir uma avaliação significativa do potencial da substância para afectar a fecundidade, a gravidez e o comportamento maternal, bem como o aleitamento, o crescimento e o desenvolvimento da prole F₁, desde a concepção até à maturidade, e o desenvolvimento da sua descendência (F₂) até ao desmame. Por esse motivo, a impossibilidade de obter o número desejado de animais prenhes (isto é, 20) não invalida necessariamente o estudo e deve ser avaliada caso a caso.

1.4.2. Preparação das doses

Recomenda-se que a substância de ensaio seja administrada oralmente (através da alimentação, na água de beber ou por *gavage*), excepto nos casos em que se considere mais apropriado utilizar outra via de administração (por exemplo, aplicação cutânea ou inalação).

Se for necessário, a substância de ensaio pode ser dissolvida ou suspensa num agente de transporte apropriado. Recomenda-se que, sempre que possível, seja considerada em primeiro lugar a utilização de uma solução/suspensão aquosa; caso tal não seja viável, pode considerar-se o uso de uma solução/emulsão em óleo (por exemplo, óleo de milho); em última instância, poderá eventualmente recorrer-se ao uso de soluções noutros agentes de transporte. Devem conhecer-se as características tóxicas dos agentes de transporte que não sejam a água. Deve determinar-se a estabilidade da substância de ensaio no agente de transporte.

1.4.3. Dosagem

Devem utilizar-se pelo menos três níveis de dose e um controlo simultâneo. A escolha do nível de dose máximo deve ter como objectivo produzir um efeito tóxico, mas não a morte ou sofrimento forte, salvo se existirem limitações impostas pela natureza físico-química ou pelas propriedades biológicas da substância de ensaio. Normalmente, consideram-se aceitáveis estudos com mortalidade inesperada, desde que a taxa de mortalidade dos animais progenitores (P) seja inferior a cerca de 10 %. Deve seleccionar-se uma sequência descendente de níveis de dose que permita detectar qualquer efeito relacionado com a dosagem e determinar o nível sem efeitos adversos observáveis (NSEAO). Em muitos casos, a melhor forma de estabelecer estas sequências consiste no espaçamento das doses em série geométrica, usando factores de dois ou de quatro. A adição de um quarto grupo de ensaio é muitas vezes preferível ao uso de intervalos muito grandes entre as dosagens (ou seja, com um factor superior a 10). Quando a substância de ensaio é administrada na alimentação, o espaçamento entre as doses não deve ser superior a um factor de três. A escolha dos níveis de dose deverá considerar todos os dados de toxicidade existentes, em especial os resultados de estudos de dose repetida, devendo ainda levar em conta quaisquer informações relativas ao metabolismo e à cinética da substância de ensaio ou de substâncias relacionadas. Estas informações poderão também ser usadas para demonstrar a adequação do regime de dosagem.

O grupo de controlo deve ser um grupo não sujeito a tratamento ou, se for usado um agente de transporte para administrar a substância de ensaio, um grupo de controlo do agente de transporte. Os animais do grupo de controlo devem ser tratados da mesma maneira que os animais dos grupos de ensaio, com excepção do tratamento com a substância de ensaio. Se for usado um agente de transporte, o grupo de controlo deverá receber o volume máximo de agente de transporte utilizado no ensaio. Se a substância de ensaio for administrada na alimentação e causar uma diminuição da ingestão de alimentos e da sua assimilação, poderá ser necessário utilizar um grupo de controlo negativo (submetido ao mesmo regime alimentar reduzido); em alternativa, poderão usar-se os dados de estudos controlados destinados a avaliar os efeitos da diminuição do consumo de alimento nos parâmetros reprodutivos.

Deverão ser tomadas em consideração as seguintes características do agente de transporte e outros aditivos: efeitos na absorção, distribuição, metabolismo ou retenção da substância de ensaio; efeitos nas propriedades químicas da substância de ensaio susceptíveis de alterar as suas características tóxicas; e efeitos no consumo de alimentos, na ingestão de água ou no estado nutricional dos animais.

1.4.4. Ensaio-limite

Se um estudo com um nível de dose oral de pelo menos 1 000 mg/kg de peso corporal/dia (ou uma percentagem equivalente nos alimentos ou na água de beber, caso se recorra a um destes tipos de administração), realizado de acordo com os procedimentos descritos neste estudo, não provocar efeitos tóxicos observáveis nos animais progenitores nem na sua prole e se, para além disso, os dados existentes sobre compostos estrutural e/ou metabolicamente relacionados com a substância de ensaio não sugerirem a possível ocorrência de toxicidade, poderá considerar-se desnecessário realizar um ensaio completo com vários níveis de dose. O ensaio-limite é sempre válido, excepto nos casos em que se preveja exposição humana e em que seja necessário testar um nível de dose oral mais elevado. Quando se usam outras formas de administração, como inalação ou aplicação cutânea, as propriedades físico-químicas da substância de ensaio (por exemplo, a solubilidade) são muitas vezes indicativas e limitantes do nível máximo de exposição praticável.

1.4.5. Administração das doses

Os animais devem ser tratados com a substância de ensaio durante os sete dias da semana. A forma de administração preferida é a via oral (alimentação, água de beber ou *gavage*). Se for usada outra via de administração, deverão ser indicadas as razões subjacentes à sua escolha; neste caso, poderá ser necessário introduzir modificações apropriadas no método de ensaio. Deve utilizar-se o mesmo método de administração em todos os animais durante o período experimental apropriado. A administração por *gavage* deve ser feita com uma sonda gástrica. O volume de líquido administrado numa toma não deve exceder 1 ml/100 g de peso corporal (o volume máximo para óleo de milho é de 0,4 ml/100 g de peso corporal); exceptuam-se as soluções aquosas, que podem ser administradas na proporção de 2 ml/100 g de peso corporal. Deve minimizar-se a variabilidade do volume de ensaio efectuando ajustes nas concentrações, de forma a assegurar a constância do volume em todos os níveis de dose; exceptuam-se os casos em que se utilizam substâncias irritantes ou corrosivas, que normalmente exercem efeitos exacerbados quando aplicadas em concentrações mais elevadas. Normalmente, nos estudos com administração por *gavage*, as crias amamentadas só recebem a substância de ensaio de forma indirecta, através do leite; a dosagem directa inicia-se apenas na altura do desmame. Nos estudos em que a substância de ensaio é administrada na alimentação ou na água de beber, as crias podem receber uma quantidade adicional da substância de ensaio quando, na última semana do período de lactação, começam a comer por si próprias.

É importante assegurar que as quantidades de substância de ensaio administradas através da alimentação ou da água de beber não interferem nas exigências normais de nutrição ou de consumo de água. Quando a substância de ensaio for incorporada na alimentação, pode utilizar-se uma concentração alimentar constante (ppm) ou, alternativamente, um nível de dose constante em relação ao peso corporal dos animais; deve especificar-se o método escolhido para o ensaio. No caso de uma substância administrada por *gavage*, a dose deve ser administrada todos os dias à mesma hora, devendo ser ajustada pelo menos uma vez por semana a fim de se manter uma dose constante em relação ao peso corporal do animal; estes ajustes deverão ser feitos tendo em conta os dados relativos à distribuição placentária.

1.4.6. Plano da experiência

A substância de ensaio começa a ser administrada diariamente aos machos e fêmeas progenitores (P) ao atingirem entre cinco e nove semanas de idade. A dosagem diária dos machos e fêmeas F_1 deve começar na altura do desmame; importa ter presente que, quando a substância de ensaio é administrada através da alimentação ou na água de beber, pode ocorrer exposição directa das crias da geração F_1 à substância de ensaio durante o período de lactação. O tratamento de ambos os sexos das gerações P e F_1 deve decorrer durante pelo menos 10 semanas antes do acasalamento, prosseguindo nas duas semanas do período de acasalamento. Os machos devem ser sacrificados e examinados quando deixam de ser necessários para avaliação de efeitos sobre o aparelho reprodutor. A dosagem das fêmeas progenitoras (P) deve continuar durante a gravidez, prolongando-se até ao desmame da prole F_1 . O esquema de administração poderá ser modificado com base em informações relativas à substância de ensaio, incluindo dados sobre toxicidade, indução de metabolismo ou bioacumulação. Normalmente, a dose a administrar a cada animal é calculada com base na determinação mais recente do seu peso corporal. No entanto, o ajuste das doses durante o último terço da gravidez deve ser feito com precaução.

O tratamento dos machos e fêmeas P e F_1 deve continuar até ao momento do sacrifício. Todos os machos e fêmeas adultos P e F_1 devem ser sacrificados quando deixarem de ser necessários para avaliação de efeitos sobre a reprodução. Os animais da descendência F_1 não seleccionados para acasalamento e todos os descendentes F_2 deverão ser sacrificados após o desmame.

1.4.7. Processo de acasalamento

1.4.7.1. Acasalamento dos progenitores (P)

Para o acasalamento, cada fêmea deve ser colocada juntamente com um único macho pertencente ao mesmo nível de dosagem (acasalamento 1:1) até que ocorra cópula ou tenham decorrido duas semanas. As fêmeas devem ser examinadas diariamente para verificar a presença de esperma ou um rolhão vaginal. Considera-se o

dia 0 de gravidez aquele em que se observa um rolhão vaginal e/ou esperma. Quando a tentativa de acasalamento for mal sucedida, poderá tentar-se um novo acasalamento das fêmeas com machos do mesmo grupo comprovadamente aptos a procriar. Os pares acasalados devem ser identificados nos dados do ensaio de forma inequívoca. Deve evitar-se o acasalamento entre irmãos.

1.4.7.2. *Acasalamento de F₁*

Para o acasalamento da descendência F₁ e produção da geração F₂, devem seleccionar-se pelo menos um macho e uma fêmea de cada ninhada, em altura de desmame, para acasalamento com outras crias pertencentes ao mesmo nível de dose mas provenientes de ninhadas diferentes. A selecção das crias de cada ninhada deve ser feita de forma aleatória, desde que não se verifiquem diferenças significativas no peso corporal ou na aparência dos animais. Caso se observem essas diferenças, devem seleccionar-se os animais mais representativos de cada ninhada. Embora a forma mais correcta de selecção seja aquela que se baseia no peso corporal, em determinadas circunstâncias poderá ser mais conveniente recorrer à aparência. A descendência F₁ só deve acasalar depois de ter atingido a maturidade sexual completa.

Os casais sem descendência devem ser avaliados para determinar as causas da aparente esterilidade. Esta avaliação pode envolver novas tentativas de acasalamento com outros machos ou fêmeas comprovadamente aptos a procriar, o exame microscópico dos órgãos reprodutores e a observação dos ciclos do estro ou da espermatogénese.

1.4.7.3. *Segundo acasalamento*

Em determinadas circunstâncias, tais como situações em que se verifiquem alterações na dimensão da ninhada relacionadas com o tratamento ou em que se observe um efeito ambíguo no primeiro acasalamento, recomenda-se que os adultos P ou F₁ acasalem de novo para produzir uma segunda ninhada. O segundo acasalamento de fêmeas ou machos que não tenham produzido ninhadas deverá ser feito com reprodutores comprovados do sexo oposto. Se numa das gerações for estritamente necessário produzir uma segunda ninhada, os animais devem acasalar novamente cerca de uma semana depois do desmame da última ninhada.

1.4.7.4. *Dimensão das ninhadas*

Os animais devem poder parir normalmente e criar os seus descendentes até ao desmame. A uniformização do tamanho das ninhadas é opcional; caso seja feita, deve descrever-se pormenorizadamente o método usado.

1.5. OBSERVAÇÕES

1.5.1. **Observações clínicas**

Deve efectuar-se diariamente uma observação clínica geral; nos casos em que a dose é administrada por *gavage*, a escolha do momento da observação deve tomar em consideração o período de efeitos máximos previsto que se verifica após a administração da dose. Devem registar-se quaisquer modificações de comportamento, sinais de parto difícil ou prolongado e todos os sinais de toxicidade. Deverá efectuar-se uma inspecção adicional mais pormenorizada de cada animal pelo menos uma vez por semana, que por conveniência poderá coincidir com o momento da pesagem. Para além disso, cada animal deve ser observado duas vezes por dia (ou uma vez por dia durante o fim-de-semana, quando for conveniente) para avaliar morbilidade e mortalidade.

1.5.2. **Peso corporal e consumo de alimento/água dos animais progenitores**

Os animais progenitores (P e F₁) devem ser pesados no primeiro dia de tratamento e, em seguida, pelo menos uma vez por semana. O peso das fêmeas progenitoras (P e F₁) deve ser determinado, no mínimo, nos dias 0, 7, 14 e 20 ou 21 da gestação, durante a lactação (nos dias coincidentes com a pesagem das crias) e no dia do sacrifício. Estas observações devem ser registadas individualmente para cada animal adulto. Durante os períodos de pré-acasalamento e gestação, o consumo de alimento deve ser medido pelo menos semanalmente. Se a substância de ensaio for administrada na água, o consumo de água deve ser determinado pelo menos uma vez por semana.

1.5.3. **Ciclo do estro**

A duração e a normalidade do ciclo do estro nas fêmeas P e F₁ são avaliadas por observação de esfregaços vaginais obtidos antes do acasalamento, durante o acasalamento (opcional) e até existirem evidências de cópula. A remoção de células vaginais/cervicais deve ser feita cuidadosamente, de modo a evitar o distúrbio da mucosa e a subsequente indução de uma gravidez fictícia (1).

1.5.4. **Parâmetros dos espermatozóides**

No momento do sacrifício, deverá registar-se o peso dos testículos e do epidídimo de todos os machos P e F₁ após o sacrifício. Deve reservar-se um exemplar de cada tipo de órgão para exame histopatológico (ver secções 1.5.7 e 1.5.8.1). Para a contagem de espermátídios e de espermatozóides das reservas do conduto epididimário resistentes a homogeneização, deverão usar-se, respectivamente, os testículos e os epidídimos de

subgrupos de pelo menos 10 machos de cada grupo P e F₁. Deve colher-se o esperma do conduto epididimário ou do canal deferente dos animais desses subgrupos para avaliar a mobilidade e a morfologia dos espermatozóides. Se forem detectados efeitos relacionados com o tratamento ou se estudos anteriores indicarem possíveis efeitos na contagem de espermatozóides, deverão analisar-se os espermatozóides de todos os machos de cada grupo de dose; caso contrário, a contagem pode restringir-se aos machos P e F₁ dos grupos de controlo e de dose máxima.

Deve proceder-se à contagem do número total de espermátídios testiculares e de espermatozóides do conduto epididimário resistentes a homogeneização (2) (3). O número de espermatozóides das reservas do conduto pode ser determinado considerando o volume e a concentração de esperma na suspensão usada para a análise qualitativa e efectuando a contagem de espermatozóides após maceração e/ou homogeneização do restante tecido do conduto. As contagens devem ser feitas nos subgrupos de machos seleccionados de todos os grupos de dosagem e ser levadas a efeito imediatamente após o sacrifício dos animais, excepto se forem feitas gravações de vídeo ou digitais ou se os animais forem congelados para análise posterior. Nestes casos, podem analisar-se primeiro os grupos de controlo e de dose máxima; se não se observarem efeitos relacionados com o tratamento (por exemplo, efeitos na contagem, mobilidade ou morfologia dos espermatozóides), não será necessário avaliar os restantes grupos de dose; caso contrário, deverão analisar-se também os grupos de dosagem inferior.

A mobilidade dos espermatozóides do epidídimo (ou do canal deferente) deve ser analisada ou gravada em vídeo imediatamente após o sacrifício. O esperma deve ser retirado o mais rapidamente possível, enquanto os danos são mínimos; seguidamente, deve ser diluído para uma análise de mobilidade usando métodos aprovados (4). A determinação da percentagem de espermatozóides progressivamente móveis poderá ser tanto subjectiva como objectiva. Quando se realiza uma análise de mobilidade assistida por computador (5) (6) (7) (8) (9) (10), a determinação da mobilidade progressiva baseia-se em valores críticos definidos pelo utilizador em relação à velocidade média e à rectitude da trajectória, ou índice linear. Se existirem gravações em vídeo de amostras (11) ou outras imagens obtidas durante a necropsia, pode efectuar-se posteriormente a análise dos machos P e F₁ dos grupos de controlo e de dose máxima. Se não se observarem efeitos relacionados com o tratamento, será desnecessário avaliar os restantes grupos de dose; caso contrário, deverão analisar-se também os grupos de dosagem inferior. Caso não existam imagens de vídeo ou digitais, todas as amostras de todos os grupos de tratamento devem ser analisadas no momento da necropsia.

Deve efectuar-se a análise morfológica de uma amostra de espermatozóides epididimários (ou do canal deferente). Depois de fixados, os espermatozóides (pelo menos 200 por amostra) são examinados em preparações húmidas (12) e classificados como normais ou anormais. As anomalias morfológicas em espermatozóides incluem fusão, cabeças isoladas e ausência de cabeças e/ou de caudas. A avaliação deve ser feita nos subgrupos de machos seleccionados de todos os grupos de dose, quer imediatamente após o sacrifício dos animais, quer posteriormente, usando gravações de vídeo ou digitais. Depois de fixados, os esfregaços podem também ser guardados para análise posterior. Nestas situações, podem analisar-se primeiro os grupos de controlo e de dose máxima. Se não se observarem efeitos relacionados com o tratamento (por exemplo, efeitos na morfologia dos espermatozóides), não será necessário analisar os restantes grupos de dose; caso contrário, deverão analisar-se também os grupos de dosagem inferior.

Caso um dos parâmetros de avaliação de espermatozóides acima mencionados tenha sido examinado anteriormente num estudo sistémico de toxicidade de pelo menos 90 dias, poderá considerar-se desnecessário repetir a sua avaliação no estudo em duas gerações. Recomenda-se, no entanto, que se guardem amostras ou gravações digitais de espermatozóides da geração P para possibilitar uma avaliação posterior, caso esta venha a ser necessária.

1.5.5. Descendência

Cada ninhada deve ser examinada o mais cedo possível após o parto (dia 0 de lactação) para se determinar o número e o sexo das crias, os nados-mortos, os nados-vivos e a presença de anomalias macroscópicas. Caso não se encontrem maceradas, as crias encontradas mortas no dia 0 devem ser examinadas para determinar eventuais malformações e a causa da morte; estes animais devem manter-se conservados. As crias vivas devem ser contadas e pesadas individualmente no momento do nascimento (dia 0 de lactação) ou no dia 1; a partir daí, os pesos devem ser avaliados em dias regulares de pesagem, por exemplo, nos dias 4, 7, 14 e 21 de lactação. Devem registar-se as alterações físicas ou de comportamento observadas nas mães ou nos descendentes.

A avaliação do desenvolvimento físico da descendência deve basear-se principalmente no aumento do peso corporal. Outros parâmetros físicos (por exemplo, abertura dos olhos e ouvidos, erupção dos dentes, crescimento de pêlo) poderão dar informações suplementares. No entanto, estes dados deverão ser considerados preferencialmente no contexto da maturação sexual (por exemplo, idade e peso corporal no momento da abertura vaginal ou da separação bálando-prepucial) (13). Devem efectuar-se avaliações de desempenho (por exemplo, actividade motora, função sensorial e ontogenia dos reflexos) da descendência F₁ antes e/ou depois do desmame, dedicando especial atenção aos aspectos relacionados com a maturação sexual, caso não tenham sido incluídas em estudos independentes. Deve determinar-se a idade da abertura vaginal e da separação do prepúcio nos animais recém-desmamados seleccionados para acasalamento. Se forem detectadas alterações na proporção entre os sexos ou no tempo de maturação sexual dos animais F₁, deverá medir-se a distância anogenital das crias F₂ no dia 0 pós-natal.

As observações de desempenho poderão ser omitidas em grupos que revelem claramente outros sinais de efeitos adversos (por exemplo, um decréscimo significativo na progressão do peso, etc.). Caso se realizem, as avaliações de desempenho não devem ser efectuadas em crias seleccionadas para acasalamento.

1.5.6. Necropsia macroscópica

Todos os animais progenitores (P e F₁), bem como todas as crias apresentando anomalias externas ou sinais clínicos e uma cria seleccionada aleatoriamente das gerações F₁ e F₂, escolhida ao acaso quanto ao sexo e à ninhada de origem, devem ser analisados macroscopicamente no momento do sacrifício ou da morte no decurso do estudo para se detectar qualquer anomalia estrutural ou alteração patológica; deverá dedicar-se uma atenção especial aos órgãos do aparelho reprodutor. Caso não se encontrem maceradas, as crias sacrificadas, em estado moribundo ou encontradas mortas devem ser examinadas para se determinarem eventuais malformações e/ou a causa da morte; estes animais devem manter-se conservados.

Devem examinar-se os úteros de todas as fêmeas primíparas a fim de se detectarem a presença e o número de locais de implantação; este exame deverá ser feito de forma a não comprometer a avaliação histopatológica.

1.5.7. Pesagem dos órgãos

No momento do sacrifício, deverá determinar-se o peso do corpo e dos seguintes órgãos de todos os animais progenitores P e F₁ (os órgãos pares devem ser pesados individualmente):

- útero, ovários,
- testículos, epidídimo (total e conduto),
- próstata,
- vesículas seminais, glândulas coagulantes e respectivos fluidos e próstata (como uma unidade),
- cérebro, fígado, rins, baço, glândula pituitária, tiróide, glândulas supra-renais e órgãos-alvo conhecidos.

Devem determinar-se os pesos corporais terminais das crias F₁ e F₂ seleccionadas para necropsia, devendo ainda pesar-se o cérebro, o baço e o timo de uma cria seleccionada aleatoriamente quanto ao sexo e à ninhada de origem (ver secção 1.5.6).

Sempre que possível, a avaliação dos resultados da necropsia macroscópica e da pesagem de órgãos deverá ser efectuada tendo em conta os dados de outros estudos de dose repetida.

1.5.8. Histopatologia**1.5.8.1. Animais progenitores**

Devem ser fixados e conservados em meio adequado para exame histopatológico os seguintes órgãos e tecidos de animais progenitores (P e F₁) (ou amostras representativas):

- vagina, útero com colo e ovários (preservados em fixador adequado);
- um testículo (preservado em fixador de Bouin ou equivalente), um epidídimo, vesículas seminais, próstata e glândula coagulante;
- órgão(s)-alvo previamente identificado(s) de todos os animais P e F₁ seleccionados para acasalamento.

Serão objecto de um exame histopatológico completo os órgãos e tecidos conservados acima mencionados de todos os animais P e F₁ dos grupos de controlo e de dose máxima seleccionados para acasalamento. A inspecção dos ovários dos animais P é opcional. Serão examinados os órgãos que apresentem alterações relacionadas com o tratamento dos animais dos grupos de doses média e baixa, a fim de auxiliar a determinação do NSEAO. Adicionalmente, deverá efectuar-se a avaliação histopatológica dos órgãos reprodutores de animais dos grupos de dose média e baixa suspeitos de fertilidade reduzida (por exemplo, animais com insucesso no acasalamento, concepção, geração ou parto de uma descendência saudável, ou animais com alterações nos ciclos do estro ou no número, mobilidade ou morfologia dos espermatozóides). Deverão examinar-se todas as lesões macroscópicas, tais como atrofas ou tumores.

Os testículos devem ser objecto de um exame histopatológico pormenorizado (por exemplo, usando fixador de Bouin, inclusão em parafina e secções transversais com 4-5 µm de espessura) a fim de se detectarem efeitos relacionados com o tratamento, tais como retenção de espermátídios, ausência de camadas ou tipos de células germinais, células gigantes multinucleadas ou perda de células espermatógenicas para o lúmen (14). O exame

do epidídimo intacto deve abranger a cabeça, o corpo e o conduto e pode efectuar-se por observação de uma secção longitudinal. A análise do epidídimo destina-se a detectar infiltração de leucócitos, alteração na prevalência de tipos de células, tipos de células aberrantes e fagocitose de espermatozóides. Os órgãos reprodutores masculinos podem ser examinados recorrendo ao uso de PAS (ácido p-aminossalicílico) e coloração com hematoxilina.

Os ovários no período pós-lactação devem conter folículos primordiais e folículos em crescimento, bem como os grandes corpos amarelos da lactação. O exame histopatológico deverá detectar uma diminuição qualitativa da população de folículos primordiais. As fêmeas F₁ devem ser submetidas a uma avaliação quantitativa dos folículos primordiais; o número de animais, a selecção da secção do ovário e o tamanho da amostra seccionada devem ser adequados, do ponto de vista estatístico, para o procedimento de avaliação usado. O exame deve incluir a contagem do número de folículos primordiais (que poderão estar combinados com pequenos folículos em crescimento) em ovários de tratamento e em ovários de controlo, para posterior comparação de resultados (15) (16) (17) (18) (19).

1.5.8.2. *Animais recém-desmamados*

Devem ser fixados e conservados em meio apropriado para exame histopatológico os tecidos e órgãos-alvo com anomalias macroscópicas de todas as crias que apresentem anomalias externas ou sinais clínicos, bem como de uma cria seleccionada aleatoriamente das gerações F₁ e F₂, escolhida ao acaso quanto ao sexo e à ninhada de origem e que não tenha sido seleccionada para acasalamento. Deve efectuar-se a caracterização histopatológica completa do tecido conservado, dando especial atenção aos órgãos do aparelho reprodutor.

2. DADOS

2.1. TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Os dados devem ser registados individualmente e resumidos na forma de quadros, indicando, em relação a cada grupo de ensaio e cada geração, o número de animais no início do ensaio, o número de animais encontrados mortos durante o ensaio ou sacrificados, o momento de todas as mortes ou sacrifícios, o número de animais férteis, o número de fêmeas grávidas, o número de animais com manifestações de toxicidade, uma descrição dos sinais de toxicidade observados (incluindo o momento do aparecimento, a duração e a intensidade), os tipos de observações feitas nos progenitores e nos descendentes, os tipos de alterações histopatológicas e todos os dados relevantes relativos às ninhadas.

Os resultados numéricos devem ser avaliados com um método estatístico adequado e geralmente aceite; a escolha do método estatístico deve constar do planeamento do estudo e ser devidamente justificada. Os modelos estatísticos dose-resposta podem ser úteis para a análise dos dados. O relatório deve incluir informação suficiente sobre o método de análise e o programa informático usados para que um examinador/estatístico independente possa reavaliar e reconstituir a análise.

2.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os dados recolhidos no estudo de toxicidade sobre a reprodução em duas gerações, incluindo os relativos aos exames microscópicos e necropsias, deverão ser analisados em termos dos efeitos observados. A análise deverá considerar a relação (ou a ausência de relação) entre a dose da substância de ensaio e a presença ou ausência, incidência e gravidade de anomalias, incluindo lesões macroscópicas, órgãos identificados como alvos, alterações da fertilidade, anomalias clínicas, alterações da reprodução e procriação, alterações do peso corporal, efeitos na mortalidade e quaisquer outros efeitos tóxicos. A análise dos resultados do ensaio deve ainda ter em conta as propriedades físico-químicas da substância de ensaio, assim como informação toxicocinética, se disponível.

Um ensaio de toxicidade sobre a reprodução bem elaborado deverá fornecer uma estimativa satisfatória do nível sem efeito e dar conhecimento dos efeitos adversos na reprodução, parturição, lactação e desenvolvimento pós-natal, incluindo o crescimento e o desenvolvimento sexual.

2.3. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A finalidade de um estudo de toxicidade sobre a reprodução em duas gerações consiste na obtenção de informações relativas aos efeitos de exposição repetida a uma substância durante todas as fases do ciclo reprodutor. Mais especificamente, o estudo fornece informações sobre os parâmetros reprodutores, bem como sobre o desenvolvimento, o crescimento, a maturação e a sobrevivência da descendência. A interpretação dos resultados deve tomar em consideração dados de estudos subcrónicos, de desenvolvimento pré-natal e toxicocinéticos, entre outros eventualmente disponíveis. Os resultados deste estudo podem ser usados para avaliar a necessidade de realizar ensaios suplementares sobre uma substância química. A extrapolação dos resultados para a espécie humana tem uma validade limitada; mais adequado será usar os dados do ensaio para obter informação sobre níveis sem efeito e níveis toleráveis de exposição humana (20) (21) (22) (23).

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deverá incluir as seguintes informações:

Substância de ensaio:

- natureza física e, se relevante, propriedades físico-químicas;
- dados de identificação;
- pureza.

Agente de transporte (se apropriado):

- caso o agente de transporte não seja água, uma justificação para a sua escolha.

Animais de ensaio:

- espécie/estirpe usada;
- número, idade e sexo dos animais;
- proveniência, condições de alojamento, dieta, materiais de nidificação, etc.;
- pesos individuais dos animais no início do ensaio.

Condições de ensaio:

- razões que presidiram à escolha dos diferentes níveis de doses;
- informação pormenorizada sobre a formulação da substância de ensaio/preparação da dieta, concentrações atingidas;
- estabilidade e homogeneidade da preparação;
- informação pormenorizada sobre a administração da substância de ensaio;
- conversão da concentração da substância de ensaio na dieta/água de beber (ppm) para a dose real (mg/kg de peso corporal/dia), se aplicável;
- informação pormenorizada sobre a qualidade dos alimentos e da água.

Resultados:

- consumo de alimentos, consumo de água (se disponível), eficiência do regime alimentar (aumento do peso corporal por grama de alimento consumido) e consumo da substância de ensaio pelos animais P e F₁, excepto durante o período de coabitação e durante pelo menos o último terço do período de lactação;
- dados de absorção (se disponíveis);
- dados dos pesos corporais dos animais P e F₁ seleccionados para acasalamento;
- pesos das ninhadas e das crias;

- peso corporal no momento do sacrifício e pesos absolutos e relativos dos órgãos dos animais progenitores;
- natureza, gravidade e duração de efeitos detectados em observações clínicas (reversíveis ou não);
- momento da morte no decurso do estudo ou indicação dos animais sobreviventes no termo da experiência;
- dados de resposta tóxica por sexo e por dose, incluindo índices de acasalamento, fertilidade, gestação, nascimento, viabilidade e lactação; os números usados para calcular estes índices devem constar do relatório;
- efeitos tóxicos (ou outros) na reprodução, descendência, crescimento pós-natal, etc.;
- resultados da necropsia;
- descrição pormenorizada de todas as observações histopatológicas;
- número de fêmeas P e F₁ com ciclos normais e duração dos ciclos;
- número total de espermatozóides no conduto epididimário; percentagem de espermatozóides progressivamente móveis; percentagem de espermatozóides morfológicamente normais e percentagem de espermatozóides que apresentam cada uma das anomalias identificadas;
- duração do acasalamento, incluindo o número de dias até à sua concretização;
- duração do período de gestação;
- número de implantações, corpos amarelos, dimensão da ninhada;
- número de nados-vivos e de perdas pós-implantação;
- número de crias com anomalias macroscópicas visíveis; deve indicar-se o número de animais de tamanho inferior ao normal, caso tenha sido determinado;
- dados sobre aspectos físicos característicos das crias e outros dados de desenvolvimento pós-natal; deve ser dada uma justificação relativamente à escolha dos aspectos físicos analisados;
- dados sobre observações de desempenho nas crias e adultos, se aplicável;
- tratamento estatístico dos resultados, se apropriado.

Análise dos resultados.

Conclusões, incluindo os valores dos NSEAO para efeitos sobre as mães e os descendentes.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Sadleir, R.M.F.S., (1979) Cycles and Seasons, In: *Reproduction in Mammals*: I. Germ Cells and Fertilization, C.R. Auston and R.V. Short (eds.), Cambridge, New York.
- (2) Gray, L.E. et al., (1989) A Dose-Response Analysis of Methoxychlor-Induced Alterations of Reproductive Development and Function in the Rat. *Fundamental and Applied Toxicology*, 12, p. 92-108.
- (3) Robb, G.W. et al., (1978) Daily Sperm Production and Epididymal Sperm Reserves of Pubertal and Adult Rats. *Journal of Reproduction and Fertility*, 54 p. 103-107.
- (4) Klinefelter, G.R. et al., (1991) The Method of Sperm Collection Significantly Influences Sperm Motion Parameters Following Ethane Dimethanesulfonate Administration in the Rat. *Reproductive Toxicology*, 5, p. 39-44

- (5) Seed, J. et al., (1996) Methods for Assessing Sperm Motility, Morphology, and Counts in the Rat, Rabbit, and Dog: a Consensus Report. *Reproductive Toxicology*, 10(3), p. 237-244.
- (6) Chapin, R.E. et al., (1992) Methods for Assessing Rat Sperm Motility. *Reproductive Toxicology*, 6, p. 267-273
- (7) Klinefelter, G.R. et al., (1992) Direct Effects of Ethane Dimethanesulphonate on Epididymal Function in Adult Rats: an *In Vitro* Demonstration. *Journal of Andrology*, 13, p. 409-421.
- (8) Slott, V.L. et al., (1991) Rat Sperm Motility Analysis: Methodologic Considerations. *Reproductive Toxicology*, 5, p. 449-458.
- (9) Slott, V.L. and Perreault, S.D., (1993) Computer-Assisted Sperm Analysis of Rodent Epididymal Sperm Motility Using the Hamilton-Thorn Motility Analyzer. In: *Methods in Toxicology*, Part A., Academic, Orlando, Florida, p. 319-333.
- (10) Toth, G.P. et al., (1989) The Automated Analysis of Rat Sperm Motility Following Subchronic Epichlorhydrin Administration: Methodologic and Statistical Considerations. *Journal of Andrology*, 10, p. 401-415.
- (11) Working, P.K. and M. Hurtt, (1987) Computerised Videomicrographic Analysis of Rat Sperm Motility. *Journal of Andrology*, 8, p. 330-337.
- (12) Linder, R.E. et al., (1992) Endpoints of Spermatotoxicity in the Rat After Short Duration Exposures to Fourteen Reproductive Toxicants. *Reproductive Toxicology*, 6, p. 491-505.
- (13) Korenbrot, C.C. et al., (1977) Preputial Separation as an External Sign of Pubertal Development in the Male Rat. *Biological Reproduction*, 17, p. 298303.
- (14) Russell, L.D. et al., (1990) *Histological and Histopathological Evaluation of the Testis*, Cache River Press, Clearwater, Florida.
- (15) Heindel, J.J. and R.E. Chapin, (eds.) (1993) Part B. Female Reproductive Systems, *Methods in Toxicology*, Academic, Orlando, Florida.
- (16) Heindel, J.J. et al., (1989) Histological Assessment of Ovarian Follicle Number in Mice As a Screen of Ovarian Toxicity. In: *Growth Factors and the Ovary*, A.N. Hirshfield (ed.), Plenum, New York, p. 421-426.
- (17) Manson, J.M. and Y.J. Kang, (1989) Test Methods for Assessing Female Reproductive and Developmental Toxicology. In: *Principles and Methods of Toxicology*, A.W. Hayes (ed.), Raven, New York.
- (18) Smith, B.J. et al., (1991) Comparison of Random and Serial Sections in Assessment of Ovarian Toxicity. *Reproductive Toxicology*, 5, p. 379-383.
- (19) Heindel, J.J., (1999) Oocyte Quantitation and Ovarian Histology. In: *An Evaluation and Interpretation of Reproductive Endpoints for Human Health Risk Assessment*, G. Daston and C.A. Kimmel (eds.), ILSI Press, Washington, DC.
- (20) Thomas, J. A., (1991) Toxic Responses of the Reproductive System. In: *Casarett and Doull's Toxicology*, M.O. Amdur, J. Doull, and C.D. Klaassen (eds.), Pergamon, New York.
- (21) Zenick, H. and E.D. Clegg, (1989) Assessment of Male Reproductive Toxicity: A Risk Assessment Approach. In: *Principles and Methods of Toxicology*, A.W. Hayes (ed.), Raven Press, New York.
- (22) Palmer, A.K., (1981) In: *Developmental Toxicology*, Kimmel, C.A. and J. Buelke-Sam (eds.), Raven Press, New York.
- (23) Palmer, A.K., (1978) In *Handbook of Teratology*, Vol. 4, J.G. Wilson and F.C. Fraser (eds.), Plenum Press, New York.

B.36. TOXICOCINÉTICA

1. MÉTODO

1.1. INTRODUÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

1.2. DEFINIÇÕES

Ver Introdução Geral, parte B.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Nenhuma.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Administra-se a substância a testar pela via apropriada. Consoante o objectivo do estudo, pode administrar-se a substância em dose única ou repetida, durante períodos de tempo determinados a um ou vários grupos de animais de experiência. Em seguida e, dependendo do tipo de estudo, determinam-se os níveis da substância e/ou seus metabolitos nos líquidos orgânicos, tecidos e/ou excreta.

Os estudos podem ser efectuados com formas «marcadas» ou «não marcadas» da substância a testar. No caso de utilização de um marcador, a posição deste na substância deve fornecer o máximo de informação sobre o destino do composto.

1.5. CRITÉRIOS QUALITATIVOS

Nenhum.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

Preparativos

Aclimatizam-se às condições do laboratório jovens animais adultos e saudáveis, durante pelo menos cinco dias antes da experiência. Antes de começar o ensaio, distribuem-se os animais ao acaso pelos grupos submetidos ao tratamento. Em certas condições especiais podem utilizar-se animais muito jovens, fêmeas grávidas ou animais pré-tratados.

Condições experimentais*Animais de experiência*

Os estudos toxicocinéticos podem ser efectuados numa ou várias espécies de animais apropriadas e deverão ter em conta as espécies já utilizadas ou que se preveja utilizar noutros estudos toxicológicos sobre a mesma substância a testar. Quando se utilizam roedores num ensaio, a variação de peso entre os animais não deve exceder $\pm 20\%$ do peso médio.

Número e sexo

Para os estudos de absorção e de excreção deverão utilizar-se grupos de quatro animais para cada dose. A escolha de um sexo determinado não é obrigatória mas, nalguns casos, pode tornar-se necessário estudar animais de ambos os sexos. No caso de haver respostas diferentes consoante o sexo serão tratados quatro animais de cada sexo. No caso de estudos com não roedores pode utilizar-se um menor número de animais. Quando se estudar a distribuição nos tecidos, para calcular a dimensão inicial do grupo deverá ter-se em conta o número de animais a sacrificar nas datas de exame pré-estabelecidas, bem como o número de exames.

Para o estudo do metabolismo, a dimensão do grupo tratado será adaptada às necessidades do estudo. Para os estudos com doses repetidas e com vários exames intermédios, deverá ter-se em conta, para calcular a dimensão do grupo tratado, o número de exames e o de sacrifícios previstos; no entanto, não pode ser inferior a dois animais. A dimensão do grupo deverá ser suficiente para permitir uma avaliação aceitável do aumento dos níveis, planalto e da diminuição dos níveis (se for caso disso) da substância a testar e/ou metabolitos.

Doses

No caso de administração única devem utilizar-se pelo menos duas doses diferentes. Deve haver um dose baixa com a qual não se observem efeitos tóxicos e uma dose elevada susceptível de modificar os parâmetros toxicinéticos ou com a qual se observem efeitos tóxicos.

No caso de administração repetida, a dose baixa é habitualmente suficiente mas, nalgumas circunstâncias, pode ser também necessária uma dose elevada.

Via de administração

Os estudos toxicinéticos serão efectuados usando a mesma via e, quando apropriado, o mesmo veículo já utilizado ou que se preveja utilizar noutros estudos de toxicidade. A substância a testar é habitualmente administrada por via oral (por *gavage* ou incorporação na alimentação), por aplicação na pele ou por inalação durante períodos de tempo determinados, a vários grupos de animais de experiência. A administração da substância a testar por via endovenosa pode ser útil para determinar a absorção relativa pelas outras vias. Além disso, podem obter-se informações úteis sobre o modo de distribuição da substância logo após a sua administração endovenosa.

A possibilidade de uma interferência do veículo com a substância a testar deverá ser tomada em consideração. Deve prestar-se atenção particular às diferenças de absorção, quando a substância a testar for administrada por *gavage* ou na alimentação e à necessidade de determinar a dose com precisão quando a substância a testar for incorporada na alimentação.

Período de observação

Todos os animais devem ser observados diariamente registando-se os sinais de toxicidade e outras manifestações clínicas relevantes, incluindo o momento do aparecimento, sua gravidade e duração.

Procedimento

Depois de pesar os animais de experiência, administra-se a substância a testar por uma via apropriada. Se se considerar necessário, os animais poderão estar em jejum antes da administração da substância a testar.

Absorção

A taxa e o grau de absorção da substância administrada podem ser avaliadas por diferentes métodos, em presença e na ausência, de grupos de referência ⁽¹⁾, por exemplo:

- determinação da quantidade da substância testada e/ou dos seus metabolitos nos excreta tais como urina, bilis, fezes, ar expirado e no conteúdo da carcaça,
- comparação da resposta biológica (por exemplo, estudo da toxicidade aguda) obtida, nos grupos de experiência, nos grupos de controlo e/ou nos grupos de referência,
- comparação da quantidade de substância e/ou de metabolitos excretados pelos rins nos grupos de experiência e nos de referência,
- determinação da área sob a curva nível plasmático/tempo da substância a testar e/ou dos seus metabolitos e comparação com os resultados obtidos num grupo de referência.

Distribuição

Existem actualmente duas abordagens à análise do(s) modo(s) de distribuição, podendo utilizar-se um deles ou ambos:

- as técnicas de autoradiografia de corpo inteiro fornecem informações qualitativas úteis,
- o sacrifício dos animais a intervalos diferentes depois da exposição e a determinação da concentração e da quantidade de substância a testar e/ou dos seus metabolitos nos tecidos e nos órgãos fornecem informações quantitativas.

⁽¹⁾ Neste método entende-se por grupo de referência um grupo em que a substância a testar é administrada por outra via que assegure uma disponibilidade total de dose.

Excreção

Nos estudos de excreção, recolhem-se a urina, as fezes, o ar expirado e, nalguns casos, a bÍlis. A quantidade da substância a testar e/ou de metabolitos presentes nestes excreta será medida várias vezes depois da exposição, até que cerca de 95 % da dose administrada tenha sido eliminada, ou durante sete dias consecutivos, se não se tiver atingido antes aquela percentagem.

Nalguns casos pode ser necessário considerar a quantidade de substância a testar eliminada no leite dos animais de experiência que estão a aleitar.

Metabolismo

Para determinar a via metabólica e a sua extensão serão analisadas amostras biológicas com métodos adequados. Serão estudadas as estruturas dos metabolitos e propostas vias metabólicas apropriadas quando houver necessidade de responder a questões levantadas em estudos toxicológicos anteriores. Pode ser útil a realização de estudos *in vitro* para obter informações sobre as vias metabólicas.

Podem obter-se informações complementares sobre a relação entre o metabolismo e a toxicidade com estudos bioquímicos tais como a determinação dos efeitos sobre sistemas de enzimas metabolizantes, da depleção em compostos endógenos com grupos sulfidrilos não proteicos, e da ligação às macromoléculas.

2. RESULTADOS

Consoante o tipo de estudo efectuado, os resultados serão resumidos em quadros, acompanhados por gráficos quando tal for apropriado. Serão indicados para cada grupo de experiência as variações médias e estatísticas das medições em função do tempo, das doses, dos tecidos e dos órgãos, quando apropriado. O grau de absorção bem como as quantidades excretadas e o ritmo de excreção serão determinados por métodos apropriados. Quando forem efectuados estudos de metabolismo, será indicada a estrutura dos metabolitos identificados e serão apresentadas as possíveis vias metabólicas.

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO TESTE

Segundo o tipo de estudo efectuado, o relatório do ensaio deverá conter as seguintes informações:

- espécie, estirpe, origem, meio ambiente, regime alimentar,
- caracterização dos produtos marcados, se utilizados,
- doses e intervalos usados,
- via(s) de administração e qualquer veículo utilizado,
- efeitos tóxicos e outros observados,
- métodos de determinação da substância testada e/ou metabolitos nas amostras biológicas incluindo o ar expirado,
- apresentação em quadros das medidas efectuadas por sexo, dose, regime, tempo, tecidos e órgãos,
- indicação do grau de absorção e de excreção em função do tempo,
- métodos de caracterização e identificação dos metabolitos nas amostras biológicas,
- métodos utilizados para as medições bioquímicas relacionadas com o metabolismo,
- vias de metabolismo propostas,

- discussão de resultados,
- interpretação dos resultados.

3.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Ver Introdução Geral, parte B.

4. **REFERÊNCIAS**

Ver Introdução Geral, parte B.

B.37. **NEUROTOXICIDADE RETARDADA DE SUBSTÂNCIAS ORGANOFOSFORADAS POR EXPOSIÇÃO AGUDA**

1. **MÉTODO**

1.1. **INTRODUÇÃO**

Na determinação e avaliação dos efeitos tóxicos das substâncias deve ter-se em conta o potencial de certos grupos, de determinarem tipos específicos de neurotoxicidade não detectáveis noutros ensaios de toxicidade. Verifica-se, assim, que algumas substâncias organofosforadas induzem neurotoxicidade retardada, constituindo potenciais alvos para avaliação.

Os ensaios de rastreio *in vitro* podem ser utilizados para identificar substâncias susceptíveis de induzir polineuropatias retardadas; todavia, a obtenção de resultados negativos nos ensaios *in vitro* não comprova que as referidas substâncias não possuem efeitos neurotóxicos.

Ver a parte B da Introdução Geral.

1.2. **DEFINIÇÕES**

As *substâncias organofosforadas* incluem os ésteres, tioésteres e anidridos não ionizados de ácidos organofosfóricos, organofosfónicos e organofosforamídicos ou de ácidos fosforotióicos, fosfonotióicos e fosforotioamídicos afins, bem como quaisquer outras substâncias que possam causar o tipo de neurotoxicidade retardada que se observa por vezes nas referidas classes de substâncias.

Neurotoxicidade retardada é o síndrome associado à manifestação retardada de ataxia e de axonopatias distais na espinal medula e nos nervos periféricos, bem como à inibição e à redução da actividade da esterase envolvida na neuropatia, presente no tecido nervoso.

1.3. **SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA**

Pode utilizar-se uma substância de referência com um lote de controlo positivo, de modo a demonstrar que, nas condições de ensaio, não existe uma alteração significativa da reacção da espécie em causa.

O fosfato de tris-*o*-tolilo [n.º CAS: 78-30-8; n.º EINECS: 201-103-5; designado éster tris (2-metilfenílico) do ácido fosfórico na nomenclatura CAS e também conhecido por fosfato de tris-*o*-cresilo] constitui uma substância neurotóxica largamente utilizada.

1.4. **PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO**

A substância em estudo é administrada por via oral, numa única dose, a galinhas domésticas eventualmente protegidas de efeitos colinérgicos agudos. Os animais são observados durante 21 dias, registando-se a manifestação de quaisquer perturbações do comportamento, bem como de ataxia e paralisia. As determinações bioquímicas, nomeadamente da inibição da esterase envolvida na neuropatia, são efectuadas com aves seleccionadas de modo aleatório em cada lote, em geral 24 e 48 horas após a administração. 21 dias após a exposição, procede-se ao abate dos restantes animais, seguido do exame histopatológico de determinados tecidos do sistema nervoso.

1.5. **DESCRIÇÃO DO MÉTODO**

1.5.1. **Preparação**

Seleccionam-se de modo aleatório galinhas adultas, jovens e saudáveis, isentas de afecções virais e medicação concomitantes, bem como de anomalias da marcha, que se repartem pelos lotes de ensaio e de controlo. Os animais são aclimatados às condições de laboratório durante pelo menos cinco dias antes do início do ensaio.

Devem utilizar-se gaiolas ou recintos cujas dimensões permitam a livre mobilidade das aves e a fácil observação da respectiva marcha.

A substância em estudo é administrada por via oral, por intermédio de uma sonda gástrica, de cápsulas de gelatina ou de um método comparável. Os líquidos podem ser administrados sem diluição ou dissolvidos num veículo adequado, nomeadamente óleo de milho; os sólidos devem ser dissolvidos sempre que possível, uma vez que a absorção de doses elevadas de sólidos dispersos em cápsulas de gelatina poderá não ser eficaz. No caso de se utilizar um veículo não aquoso, devem conhecer-se, ou determinar-se antes do ensaio, as respectivas características de toxicidade.

1.5.2. Condições de ensaio

1.5.2.1. Animais de ensaio

Recomenda-se a utilização de galinhas poedeiras, adultas e jovens (*Gallus gallus domesticus*), com idades compreendidas entre 8 e 12 meses. Devem utilizar-se raças e variedades correntes, mantendo-se os animais em condições que permitam a sua livre mobilidade.

1.5.2.2. Número e sexo

Além do lote de ensaio, devem utilizar-se um lote de controlo com o veículo e um lote de controlo positivo. Os animais incluídos no lote de controlo com o veículo devem ser tratados de modo análogo aos animais do lote de ensaio, omitindo-se apenas a administração da substância em estudo.

Deve utilizar-se um número suficiente de animais em cada lote, de modo a que possam ser abatidos pelo menos seis animais para as determinações bioquímicas (três em dois momentos diferentes), sobrevivendo seis para o período de observação de 21 dias.

Pode efectuar-se um controlo positivo em paralelo ou, como alternativa, utilizar dados obtidos em controlos positivos anteriores. O lote de controlo positivo deve ser constituído por um mínimo de seis aves a que se administra uma substância com actividade neurotóxica retardada conhecida, destinando-se três animais às determinações bioquímicas e os restantes a observação. Recomenda-se a actualização periódica dos dados obtidos. Caso um laboratório altere algum elemento essencial do protocolo experimental (por exemplo, variedade de animais utilizada, condições de alimentação ou alojamento), deve efectuar-se novo controlo positivo.

1.5.2.3. Doses

Para estabelecer a dose a utilizar no ensaio, deve realizar-se um estudo prévio com um número adequado de aves e de doses, que poderá implicar a morte de alguns animais. Todavia, de modo a evitar a mortalidade devida a efeitos colinérgicos agudos, pode utilizar-se atropina ou outro agente protector que se saiba não interferir com as reacções neurotóxicas retardadas. Na estimativa da dose máxima não letal da substância em estudo podem utilizar-se diversos métodos de ensaio (ver o método B.1.bis).

A dose de substância em estudo a utilizar no ensaio deve ser tão elevada quanto possível, em função dos resultados do estudo prévio de selecção, não excedendo 2 000 mg/kg de massa corporal. O número de animais mortos durante o ensaio não deve interferir com o número mínimo de animais a utilizar para as determinações bioquímicas e para o exame histopatológico a 21 dias (seis em ambos os casos). De modo a evitar a mortalidade devida a efeitos colinérgicos agudos, pode utilizar-se atropina ou outro agente protector que se saiba não interferir com as reacções neurotóxicas retardadas.

1.5.2.4. Ensaio-limite

Sempre que um ensaio, realizado de acordo com o presente método, que utilize uma dose de, pelo menos, 2 000 mg/kg de massa corporal/dia, não produza efeitos tóxicos observáveis, ou se, tendo em conta dados referentes a substâncias estruturalmente afins, não se preveja o surgimento de efeitos tóxicos, poderá não ser necessário efectuar um ensaio com uma dose mais elevada. Nestes casos, justifica-se a realização de um ensaio-limite, excepto se a exposição humana indicar a necessidade de recurso a uma dose superior.

1.5.2.5. Período de observação

O período de observação deve ser de 21 dias.

1.5.3 Procedimento

Após a administração de um agente destinado a evitar a mortalidade devida a efeitos colinérgicos agudos, administra-se a substância em estudo numa única dose.

1.5.3.1. Observações gerais

Devem iniciar-se as observações logo após a administração da substância. Os animais devem ser cuidadosamente observados várias vezes nos dois dias subsequentes à administração e pelo menos diariamente até perfazer o período de 21 dias ou até ao abate previsto. Devem registar-se todos os sinais de toxicidade, incluindo o momento da manifestação, o tipo, a gravidade e a duração das anomalias de comportamento. A ataxia deve determinar-se de acordo com uma escala numérica constituída por um mínimo de quatro níveis, devendo também registar-se os casos de paralisia. Pelo menos duas vezes por semana, devem retirar-se das gaiolas os animais seleccionados para observação patológica, submetendo-os a um período de actividade motora forçada, nomeadamente a subida de uma escada, de modo a facilitar a observação de efeitos tóxicos mínimos. Os animais moribundos, bem como aqueles que mostrem sinais de dor e sofrimento intensos, devem ser removidos, abatidos por intervenção humana e autopsiados.

1.5.3.2. Massa corporal

As aves devem ser pesadas imediatamente antes da administração da substância em estudo e, pelo menos, uma vez por semana na sequência da mesma.

1.5.3.3. Determinações bioquímicas

Alguns dias após a administração da substância, devem abater-se seis aves seleccionadas de modo aleatório dos lotes de ensaio e de controlo com o veículo, bem como três aves do lote de controlo positivo (caso este último seja efectuado em paralelo), preparando-se os respectivos cérebros e espinais medulas com vista a determinar a inibição da actividade da esterase envolvida na neuropatia. Além disso, pode também revelar-se útil preparar, para o mesmo fim, tecidos provenientes dos nervos ciáticos. Em geral, abatem-se três animais do lote de controlo e de cada lote de ensaio 24 horas após a administração da substância e três 48 horas após a mesma; os três animais dos lotes de controlo positivos devem ser abatidos 24 horas após a administração. Caso os sinais clínicos de intoxicação (que pode ser avaliada em função do momento da manifestação dos efeitos colinérgicos) observados indicarem que o agente tóxico é eliminado de forma bastante lenta, poderá ser preferível recolher tecidos de três animais em dois momentos compreendidos entre 24 horas e, no máximo, 72 horas após a administração.

Se for caso disso, podem também efectuar-se determinações de acetilcolinesterase com as amostras em causa. Todavia, a possível ocorrência *in vivo* de reactivação espontânea da mesma poderá levar a subestimar a capacidade de inibição da acetilcolinesterase da substância em estudo.

1.5.3.4. Autópsia

A autópsia dos animais abatidos (abates previstos e abates de animais moribundos) deve incluir o exame macroscópico do cérebro e da espinal-medula.

1.5.3.5. Exame histopatológico

O tecido nervoso dos animais sobreviventes após o período de observação, que não for utilizado para as determinações bioquímicas deve ser objecto de exame microscópico. Os tecidos devem ser fixados *in situ*, por recurso a técnicas de perfusão. As secções a examinar incluem o cerebelo (ao nível meio-longitudinal), a *medulla oblongata*, a espinal medula e os nervos periféricos. Devem recolher-se secções da espinal medula provenientes do segmento cervical superior e das regiões mediotorácica e lombo-sagrada. Devem também recolher-se secções provenientes da região distal do nervo tibial e das respectivas ramificações para o músculo gastrocnémio, bem como do nervo ciático. As secções em causa devem ser coradas com corantes adequados à mielina e corantes específicos dos axónios.

2. DADOS

A obtenção de resultados negativos para os parâmetros bioquímicos, histopatológicos e de comportamento investigados no âmbito do presente ensaio não implica, de modo geral, a realização de ensaios complementares de neurotoxicidade retardada. A obtenção de resultados duvidosos ou não conclusivos poderá requerer a realização de estudos complementares.

Devem registar-se os dados relativos a cada animal. Além disso, todos os dados devem ser resumidos num quadro, referindo-se, para cada lote de ensaio, o número de animais utilizados, o número de animais que apresentam lesões e alterações de comportamento ou dos parâmetros bioquímicos, bem como o tipo e a gravidade das referidas lesões, e a percentagem de animais que apresentam cada tipo de lesões e alterações, em função da respectiva gravidade.

Os resultados do ensaio devem ser avaliados em termos de incidência, gravidade e correlação das alterações de comportamento, bem como dos efeitos bioquímicos, histopatológicos e outros efeitos observados nos lotes de ensaio e de controlo.

Sempre que possível, os resultados numéricos devem ser avaliados por recurso a um método estatístico de aceitação geral, cuja escolha deve ser efectuada na fase de concepção do ensaio.

3. **RELATÓRIO**

RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deve incluir, sempre que possível, as seguintes informações:

3.1. Animais utilizados no ensaio:

- estirpe utilizada;
- número e idade dos animais;
- proveniência, condições de alojamento, etc.;
- massa de cada animal no início do ensaio.

3.2. Condições de ensaio:

- pormenores relativos à preparação da substância em estudo e à respectiva estabilidade e homogeneidade, se for caso disso;
- justificação da escolha do veículo;
- pormenores relativos à administração da substância em estudo;
- pormenores relativos à qualidade dos alimentos e da água;
- motivo da selecção da dose utilizada;
- especificação das doses administradas, incluindo pormenores relativos ao veículo, bem como ao volume utilizado e às características físicas da substância administrada;
- identidade do agente protector eventualmente utilizado e pormenores relativos à respectiva administração.

3.3. Resultados:

- dados relativos à massa corporal;
- consumo de alimentos e de água, se for caso disso;
- reacções tóxicas observadas em cada lote, incluindo a mortalidade;
- natureza, gravidade e duração dos sinais clínicos (reversíveis ou não);
- descrição pormenorizada dos ensaios bioquímicos realizados e respectivos resultados;
- dados obtidos por autópsia;
- descrição pormenorizada dos resultados do exame histopatológico;

— tratamento estatístico dos resultados, se for caso disso.

Discussão dos resultados.

Conclusões.

4. **REFERÊNCIAS**

O presente método é análogo ao método OCDE TG 418.

B.38. **NEUROTOXICIDADE RETARDADA DE SUBSTÂNCIAS ORGANOFOSFORADAS POR ADMINISTRAÇÃO REPETIDA A 28 DIAS**

1. **MÉTODO**

1.1. **INTRODUÇÃO**

Na determinação e avaliação dos efeitos tóxicos das substâncias deve ter-se em conta o potencial de certas classes das mesmas de determinarem tipos específicos de neurotoxicidade não detectáveis noutros ensaios de toxicidade. Verifica-se, assim, que algumas substâncias organofosforadas induzem neurotoxicidade retardada, constituindo potenciais alvos para avaliação.

Os ensaios de rastreio *in vitro* podem ser utilizados para identificar substâncias susceptíveis de induzir polineuropatias retardadas; todavia, a obtenção de resultados negativos nos ensaios *in vitro* não comprova que as referidas substâncias não possuem efeitos neurotóxicos.

O presente ensaio de toxicidade retardada a 28 dias fornece informações sobre os eventuais riscos para a saúde decorrentes da exposição repetida num período limitado, nomeadamente a relação dose administrada-efeito, bem como uma estimativa das doses sem efeitos observados, a utilizar no estabelecimento de critérios de segurança na exposição à substância.

Ver a parte B da Introdução Geral.

1.2. **DEFINIÇÕES**

As *substâncias organofosforadas* incluem os ésteres, tioésteres e anidridos não ionizados de ácidos organofosfóricos, organofosfónicos e organofosforamídicos ou de ácidos fosforotióicos, fosfonotióicos e fosforotioamídicos afins, bem como quaisquer outras substâncias que possam causar o tipo de neurotoxicidade retardada que se observa por vezes nas referidas classes de substâncias.

Neurotoxicidade retardada é a síndrome associada à manifestação retardada de ataxia e de axonopatias distais na espinal medula e nos nervos periféricos, bem como à inibição e a redução da actividade da esterase envolvida na neuropatia, presente no tecido nervoso.

1.3. **PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO**

A substância em estudo é administrada por via oral a galinhas domésticas, durante 28 dias. Os animais são observados pelo menos diariamente, registando-se a manifestação de quaisquer perturbações do comportamento, bem como de ataxia e paralisia, até 14 dias após a administração da última dose. As determinações bioquímicas, nomeadamente da inibição da esterase envolvida na neuropatia, são efectuadas com aves seleccionadas de modo aleatório em cada lote, em geral 24 e 48 horas após a administração da última dose. Duas semanas após esta última, procede-se ao abate dos restantes animais, seguido do exame histopatológico de determinados tecidos do sistema nervoso.

1.4. **DESCRIÇÃO DO MÉTODO**

1.4.1. **Preparação**

Seleccionam-se de modo aleatório galinhas adultas, jovens e saudáveis, isentas de afecções virais e medicação concomitantes, bem como de anomalias da marcha, que se repartem pelos lotes de ensaio e de controlo. Os animais são aclimatados às condições de laboratório durante pelo menos cinco dias antes do início do ensaio.

Devem utilizar-se gaiolas ou recintos cujas dimensões permitam a livre mobilidade das aves e a fácil observação da respectiva marcha.

A substância em estudo é administrada por via oral, por intermédio de uma sonda gástrica, de cápsulas de gelatina ou de um método comparável. Os líquidos podem ser administrados sem diluição ou dissolvidos num veículo adequado, nomeadamente óleo de milho; os sólidos devem ser dissolvidos sempre que possível, uma vez que a absorção de doses elevadas de sólidos dispersos em cápsulas de gelatina poderá não ser eficaz. No caso de se utilizar um veículo não aquoso, devem conhecer-se, ou determinar-se antes do ensaio, as respectivas características de toxicidade.

1.4.2. Condições de ensaio**1.4.2.1. Animais de ensaio**

Recomenda-se a utilização de galinhas poedeiras, adultas e jovens (*Gallus gallus domesticus*), com idade compreendida entre 8 e 12 meses. Devem utilizar-se raças e variedades correntes, mantendo-se os animais em condições que permitam a sua livre mobilidade.

1.4.2.2. Número e sexo

Devem utilizar-se pelo menos três lotes de ensaio e um lote de controlo com o veículo. Os animais incluídos no lote de controlo com o veículo devem ser tratados de modo análogo aos animais do lote de ensaio, omitindo-se apenas a administração da substância em estudo.

Deve utilizar-se um número suficiente de animais em cada lote, de modo a que possam ser abatidos pelo menos seis animais para as determinações bioquímicas (três em dois momentos diferentes), sobrevivendo seis para o período de observação de 14 dias após a administração da última dose.

1.4.2.3. Doses

Na selecção das doses devem ter-se em conta os resultados dos ensaios de neurotoxicidade retardada por administração aguda, bem como quaisquer outros dados disponíveis em matéria de toxicidade e cinética referentes à substância em causa. A dose mais elevada deve ser escolhida com o objectivo de induzir efeitos tóxicos, nomeadamente de neurotoxicidade retardada, evitando contudo a morte e o sofrimento intenso. Posteriormente, deve seleccionar-se uma sequência decrescente de doses, com o objectivo de evidenciar uma correlação entre a dose administrada e a reacção observada, bem como a ausência de efeitos nocivos associados à administração da dose mais reduzida.

1.4.2.4. Ensaio-limite

Sempre que um ensaio, realizado de acordo com o presente método, que utilize uma dose de, pelo menos, 1 000 mg/kg de massa corporal/dia, não produza efeitos tóxicos observáveis, ou se, tendo em conta dados referentes a substâncias estruturalmente afins, não se preveja a manifestação de efeitos tóxicos, poderá não ser necessário efectuar um ensaio com uma dose mais elevada. Nestes casos, justifica-se a realização de um ensaio-limite, excepto se a exposição humana indicar a necessidade de recurso a uma dose superior.

1.4.2.5. Período de observação

Os animais devem ser observados com uma frequência pelo menos diária no decurso do período de exposição e nos 14 dias subsequentes à administração da última dose, salvo no caso de se proceder a autópsias intermédias.

1.4.3. Procedimento

Deve administrar-se a substância aos animais sete dias por semana, num período de 28 dias.

1.4.3.1. Observações gerais

Devem iniciar-se as observações logo após a administração da primeira dose. Os animais devem ser cuidadosamente observados com uma frequência diária mínima, no decurso do período de exposição e nos 14 dias subsequentes à administração da última dose, ou até ao abate previsto. As observações devem incluir, nomeadamente, as anomalias de comportamento. A ataxia deve determinar-se de acordo com uma escala numérica constituída por um mínimo de quatro níveis, devendo também registar-se os casos de paralisia. Pelo menos duas vezes por semana, devem retirar-se das gaiolas os animais seleccionados para observação patológica, submetendo-os a um período de actividade motora forçada, nomeadamente a subida de uma escada, de modo a facilitar a observação de efeitos tóxicos mínimos. Os animais moribundos, bem como aqueles que mostrem sinais de dor e sofrimento intensos, devem ser removidos, abatidos por intervenção humana e autopsiados.

1.4.3.2. Massa corporal

As aves devem ser pesadas imediatamente antes da administração da primeira dose e, pelo menos, uma vez por semana na sequência da mesma.

1.4.3.3. Determinações bioquímicas

Alguns dias após a administração da última dose, devem abater-se seis aves seleccionadas de modo aleatório dos lotes de ensaio e de controlo com o veículo, preparando-se os respectivos cérebros e espinais medulas com vista a determinar a inibição da actividade da esterase envolvida na neuropatia. Além disso, pode também revelar-se útil preparar, para o mesmo fim, tecidos provenientes dos nervos ciáticos. Em geral, abatem-se três

animais do lote de controlo e de cada lote de ensaio 24 horas após a administração da última dose e três 48 horas após a mesma. Podem utilizar-se outros intervalos de abate, apresentando a respectiva justificação, caso os dados provenientes de ensaios de toxicidade aguda ou de outro tipo de estudos (nomeadamente de toxicocinética) mostrem que esses intervalos são mais adequados.

Se for caso disso, podem também efectuar-se determinações de acetilcolinesterase com as amostras em causa. Todavia, a possível ocorrência *in vivo* de reactivação espontânea da mesma poderá levar a subestimar a capacidade de inibição da acetilcolinesterase da substância em estudo.

1.4.3.4. Autópsia

A autópsia dos animais abatidos (abates previstos e abates de animais moribundos) deve incluir o exame macroscópico do cérebro e da espinal medula.

1.4.3.5. Exame histopatológico

O tecido nervoso dos animais sobreviventes após o período de observação que não for utilizado para as determinações bioquímicas deve ser objecto de exame microscópico. Os tecidos devem ser fixados *in situ*, por recurso a técnicas de perfusão. As secções a examinar incluem o cerebelo (ao nível meio-longitudinal), a *medulla oblongata*, a espinal medula e os nervos periféricos. Devem recolher-se secções da espinal medula provenientes do segmento cervical superior e das regiões médio-torácica e lombo-sagrada. Devem também recolher-se secções provenientes da região distal do nervo tibial e das respectivas ramificações para o músculo gastrocnémio, bem como do nervo ciático. As secções em causa devem ser coradas com corantes adequados à mielina e corantes específicos dos axónios. Inicialmente, o exame microscópico deve abranger apenas os tecidos conservados dos animais do lote de controlo e do lote a que foi administrada a dose mais elevada; se, neste último caso, se observarem efeitos tóxicos, deve efectuar-se também o exame microscópico dos tecidos provenientes dos animais dos lotes a que foram administradas doses reduzidas e intermédias.

2. DADOS

A obtenção de resultados negativos para os parâmetros bioquímicos, histopatológicos e de comportamento investigados no âmbito do presente ensaio não implica, de modo geral, a realização de ensaios complementares de neurotoxicidade retardada. A obtenção de resultados duvidosos ou não conclusivos poderá requerer a realização de estudos complementares.

Devem registar-se os dados relativos a cada animal. Além disso, todos os dados devem ser resumidos num quadro, referindo-se, para cada lote de ensaio, o número de animais utilizados, o número de animais que apresentem lesões e alterações de comportamento ou dos parâmetros bioquímicos, bem como o tipo e a gravidade das referidas lesões, e a percentagem de animais que apresentam cada tipo de lesões e alterações, em função da respectiva gravidade.

Os resultados do ensaio devem ser avaliados em termos de incidência, gravidade e correlação das alterações de comportamento, bem como dos efeitos bioquímicos, histopatológicos e outros efeitos observados nos lotes de ensaio e de controlo.

Sempre que possível, os resultados numéricos devem ser avaliados por recurso a um método estatístico de aceitação geral, cuja escolha deve ser efectuada na fase de concepção do ensaio.

3. RELATÓRIO

RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deve incluir, sempre que possível, as seguintes informações:

3.1. Animais utilizados no ensaio:

- estirpe utilizada;
- número e idade dos animais;
- proveniência, condições de alojamento, etc.;
- massa de cada animal no início do ensaio.

3.2. Condições de ensaio:

- pormenores relativos à preparação da substância em estudo e à respectiva estabilidade e homogeneidade, se for caso disso;
- justificação da escolha do veículo;
- pormenores relativos à administração da substância em estudo;
- pormenores relativos à qualidade dos alimentos e da água;
- motivo da selecção das doses utilizadas;
- especificação das doses administradas, incluindo pormenores relativos ao veículo, bem como ao volume utilizado e às características físicas da substância administrada;
- motivos da selecção de outros intervalos para as determinações bioquímicas que não 24 ou 48 horas após a administração da última dose.

3.3. Resultados:

- dados relativos à massa corporal;
- reacções tóxicas observadas por dose administrada, incluindo a mortalidade;
- nível sem efeitos adversos observáveis;
- natureza, gravidade e duração dos sinais clínicos (reversíveis ou não);
- descrição pormenorizada dos ensaios bioquímicos realizados e respectivos resultados;
- dados obtidos por autópsia;
- descrição pormenorizada dos resultados do exame histopatológico;
- tratamento estatístico dos resultados, se for caso disso.

Discussão dos resultados.

Conclusões.

4. **REFERÊNCIAS**

O presente método é análogo ao método OCDE TG 419.

B.39. **ENSAIO *IN VIVO* DA SÍNTESE NÃO PROGRAMADA (UDS) DE ADN EM CÉLULAS DO FÍGADO DE MAMÍFEROS**

1. **MÉTODO**

O presente método é idêntico ao método OCDE TB 486 — Ensaio *in vivo* da síntese não programada (UDS) de ADN em células do fígado de mamíferos (1997).

1.1. **INTRODUÇÃO**

O objectivo do ensaio *in vivo* da síntese não programada (UDS) de ADN em células do fígado de mamíferos é identificar as substâncias que induzem a reparação do ADN nas células do fígado de animais expostos à substância em estudo (1) (2) (3) (4).

O presente ensaio *in vivo* apresenta um método para investigação dos efeitos dos produtos químicos genotóxicos sobre o fígado. O valor limite medido é indicativo dos danos e da subsequente reparação do ADN em células do fígado. O fígado é geralmente o local principal de metabolização dos compostos absorvidos, pelo que é particularmente apropriado para avaliar os danos do ADN *in vivo*.

Se existirem provas de que nem a substância em estudo nem nenhum dos seus metabolitos reactivos entram em contacto com o tecido objectivo, o presente ensaio não é apropriado.

O ponto final da síntese não programada (UDS) de ADN é medido através da determinação da incorporação de nucleótidos marcados por células que não se encontram numa fase de síntese programada de ADN (fase S). A técnica mais utilizada é a determinação da incorporação de timidina marcada com trítio ($^3\text{H-TdR}$) por autoradiografia. Nos ensaios UDS *in vivo* são geralmente utilizados fígados de rato. Podem também ser utilizados outros tecidos, mas não é esse o objectivo do presente método.

A detecção de uma resposta UDS depende do número de bases do ADN excizadas e substituídas no local danificado. Por conseguinte, o ensaio UDS é particularmente válido para a detecção de «reparação de cadeias longas» (20-30 bases) induzida pela substância. A «reparação de cadeias curtas» (1-3 bases) é, pelo contrário, detectada com uma sensibilidade muito mais baixa. Além disso, podem existir eventos mutagénicos decorrentes da não reparação, reparação incorrecta ou de problemas de replicação das lesões do ADN. A extensão da resposta UDS não dá qualquer indicação em relação à fidelidade do processo de reparação. Além disso, é possível que um agente mutagénico reaja com o ADN mas que os danos do ADN não sejam posteriormente reparados através de um processo de reparação da excisão. A ausência de informação específica sobre a actividade mutagénica do ensaio UDS é compensada pela potencial sensibilidade do seu ponto final, uma vez que é medido na totalidade do genoma.

Ver também a parte B da Introdução Geral.

1.2. **DEFINIÇÕES**

Células em reparação: apresentam uma granulação nuclear líquida (NNG) superior a um valor pré-determinado, a justificar pelo laboratório que conduz o ensaio.

Granulação nuclear líquida (NNG): medida quantitativa da actividade celular UDS em ensaios autoradiográficos UDS, calculada pela subtracção do número médio de grânulos citoplásmicos em sectores citoplásmicos equivalentes ao núcleo (CG) ao número de grânulos nucleares (NG): $\text{NNG} = \text{NG} - \text{CG}$. As contagens NNG são calculadas para cada célula e são depois ponderadas para as células de uma cultura, em culturas paralelas, etc.

Síntese não programada (UDS) de ADN: síntese de reparação do ADN após excisão e remoção de uma sequência de ADN que contém uma região danificada por indução de substâncias químicas ou de agentes físicos.

1.3. **PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO**

O ensaio UDS *in vivo* em células do fígado de mamíferos indica a ocorrência de uma síntese de reparação do ADN após excisão e remoção de uma sequência de ADN que continha uma região danificada por indução de substâncias químicas ou de agentes físicos. O ensaio baseia-se geralmente na incorporação de $^3\text{H-TdR}$ no ADN de células do fígado com uma baixa proporção de células na fase S do ciclo celular. A incorporação de $^3\text{H-TdR}$ é geralmente determinada por autoradiografia, uma vez que esta técnica não é tão sensível à interferência das células em fase S como, por exemplo, a contagem de cintilação em meio líquido.

1.4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO**1.4.1. Preparação****1.4.1.1. Selecção das espécies animais**

Geralmente são utilizados ratos, embora possa ser utilizada qualquer outra espécie de mamífero apropriada. Devem ser utilizados animais adultos saudáveis jovens das raças de laboratório mais comuns. No início do estudo, a diferença de peso entre os animais deve ser mínima, não devendo exceder $\pm 20\%$ do peso médio de cada sexo.

1.4.1.2. Condições de acomodação e alimentação

Devem ser aplicadas as condições gerais referidas na Introdução Geral, parte B, embora o objectivo para a humidade deva ser de 50 %-60 %.

1.4.1.3. Preparação dos animais

Os animais adultos saudáveis jovens são distribuídos aleatoriamente pelos grupos de controlo e pelos grupos expostos. As gaiolas devem ser dispostas de modo a que eventuais efeitos devidos à respectiva colocação sejam minimizados. Os animais são identificados de forma inequívoca, devendo ser aclimatados às condições de laboratório durante pelo menos cinco dias antes de se iniciar o estudo.

1.4.1.4. Preparação das doses

As substâncias sólidas devem ser dissolvidas ou suspensas em solventes ou veículos adequados e, se necessário, diluídas antes de serem administradas aos animais. As substâncias líquidas podem ser adicionadas directamente aos sistemas em estudo e/ou diluídas antes de serem adicionadas às células. Devem ser utilizadas preparações frescas da substância em estudo, a menos que os dados de estabilidade demonstrem que o respectivo armazenamento não coloca problemas para o ensaio.

1.4.2. Condições do ensaio**1.4.2.1. Solvente/veículo**

O solvente/veículo não deve reagir com a substância em estudo, não devendo produzir efeitos tóxicos nas doses utilizadas. Caso se utilizem solventes/veículos cujas propriedades não se encontrem totalmente elucidadas, devem fornecer-se dados que justifiquem a sua compatibilidade. Sempre que possível, recomenda-se a utilização de um solvente/veículo aquoso.

1.4.2.2. Controlos

Cada experiência deve incluir em paralelo controlos positivos e negativos (solvente/veículo). Com excepção da exposição à substância em estudo, todos os animais, incluindo os dos grupos de controlo, devem ser manuseados de forma idêntica.

Os controlos positivos devem ser substâncias comprovadamente causadoras de UDS quando administradas aos níveis de exposição a que se espera o surgimento de um aumento detectável em relação à linha de base. Os controlos positivos que exijam activação metabólica devem ser utilizados em doses que desencadeiem uma resposta moderada (4). A dose de controlo positiva a administrar deve ser escolhida de modo a que os seus efeitos sejam claros mas também a que as lâminas codificadas não sejam imediatamente identificadas pela pessoa que procede às leituras. As substâncias de controlo positivo podem incluir, por exemplo:

Tempo de amostragem	Substância	Número CAS	Número EINECS
Amostragens iniciais (2-4 horas)	N-nitrosodimetilamina	62-75-9	200-249-8
Amostragens finais (12-16 horas)	N-2-fluorenilacetamida (2-AAF)	53-96-3	200-188-6

Podem ser utilizadas outras substâncias de controlo positivas apropriadas. O controlo positivo pode ser administrado por uma via diferente da substância em estudo.

1.5. PROCEDIMENTO**1.5.1. Número e sexo de animais**

Deve ser utilizado um número de animais suficiente para que a variação biológica natural seja tomada em consideração nos resultados do ensaio, com pelo menos três animais analisáveis por grupo. Se já existir uma base de dados históricos significativa, os grupos de controlo positivo e negativo poderão conter apenas um ou dois animais.

Se no momento do estudo existirem dados disponíveis de estudos com as mesmas espécies e com utilização da mesma via de administração que demonstrem que não há qualquer diferença substancial de toxicidade entre os sexos, será suficiente testar um único sexo, de preferência o sexo masculino. Nos casos em que a exposição humana aos produtos químicos possa ser específica a cada sexo, como acontece com alguns produtos farmacêuticos, o ensaio deve ser executado com animais do sexo em causa.

1.5.2. Programação do tratamento

As substâncias de ensaio são preferivelmente administradas numa única exposição.

1.5.3. Doses

Normalmente, são utilizadas pelo menos duas doses diferentes. A dose mais elevada é definida como a dose que produz sinais de toxicidade tais que indiquem que a utilização de doses superiores, com o mesmo regime de administração, produzirá mortalidade. Em termos gerais, a dose inferior deve ser de 25 %-50 % da dose mais elevada.

As substâncias com actividade biológica específica em doses baixas e não tóxicas (como acontece com as hormonas e agentes mitogénicos) poderão constituir uma excepção aos critérios de fixação da dose, devendo ser avaliadas caso a caso. Se for realizado um estudo para avaliação da gama de doses a administrar, por não estarem disponíveis dados apropriados, esse estudo deve ser executado no mesmo laboratório, utilizando as mesmas espécies, linha celular, sexo e regime de exposição a utilizar no estudo principal.

A dose mais elevada pode igualmente ser definida como uma dose que produz algumas indicações de toxicidade no fígado (por exemplo, núcleos picnóticos).

1.5.4. Ensaio-limite

Se um ensaio com uma dose de pelo menos 2 000 mg/kg de peso corporal numa única exposição ou em duas exposições no mesmo dia não produzir nenhum efeito tóxico perceptível e se não for previsível a existência de toxicidade genética com base nos dados respeitantes a substâncias estruturalmente relacionadas, poderá não ser considerado necessário um estudo completo. A exposição prevista para o ser humano pode indicar a necessidade de se utilizarem doses mais elevadas nos ensaios-limite.

1.5.5. Administração das doses

A substância em estudo é geralmente administrada por sonda esofágica, utilizando um tubo estomacal ou cânula de intubação apropriada. Poderão ser aceites, mediante justificação, outras vias de administração, mas a via intraperitoneal não é recomendada, uma vez que poderá expor o fígado à substância em estudo directamente e não através do sistema circulatório. O volume máximo de líquido que pode ser administrado de cada vez por sonda esofágica ou por injeção depende também do tamanho do animal de ensaio, não devendo exceder 2 ml/100 g de peso corporal. A utilização de volumes mais elevados deve ser justificada. Com excepção das substâncias que causem irritação ou que sejam corrosivas, cujos efeitos serão normalmente agravados em concentrações mais altas, a variabilidade do volume de ensaio deve ser minimizada através do ajustamento das concentrações, por forma a garantir um volume constante para todas as doses a administrar.

1.5.6. Preparação das células de fígado

As células do fígado são normalmente preparadas a partir dos animais expostos à substância em estudo 12-16 horas após a administração da substância em estudo. Geralmente será necessário realizar uma primeira amostra (normalmente 2-4 horas após a exposição), que só não terá de ser utilizada quando haja uma resposta positiva clara às 12-16 horas. Contudo, podem ser utilizados outros tempos de amostragem, desde que sejam justificados com base em dados toxicocinéticos.

As culturas celulares de curta duração do fígado de mamíferos são geralmente preparadas irrigando o fígado *in situ* com colagenase e deixando que algumas células livres separadas do fígado há pouco tempo se fixem a uma superfície apropriada. As células do fígado de animais do controlo negativo devem ter uma viabilidade de pelo menos 50 % (5).

1.5.7. Determinação da UDS

As células de fígado de mamífero isoladas há pouco tempo são geralmente incubadas num meio que contém ^3H -TdR durante um período adequado, por exemplo 3-8 horas. No final do período de incubação, as células são lavadas para remover o meio residual e depois incubadas num meio com excesso de timidina não rotulada para diminuir a radioactividade não incorporada («lavagem a frio»). As células são então enxaguadas, fixadas e secas. Para os tempos de incubação mais prolongados, pode não ser necessária a lavagem a frio. As lâminas são mergulhadas na emulsão autoradiográfica, expostas na obscuridade (ou seja, refrigeradas durante 7-14 dias), reveladas e coradas, após o que se procede à contagem dos grânulos de prata expostos. Devem ser preparadas duas ou três lâminas de cada animal.

1.5.8. Análise

As preparações devem conter um número suficiente de células com morfologia normal para permitir uma avaliação significativa da UDS. As preparações são examinadas microscopicamente para sinais de citotoxicidade evidente (por exemplo, picnose, níveis diminuídos de radiação proveniente da timina rotulada).

As lâminas devem ser codificadas antes da contagem dos grânulos. Normalmente são contadas 100 células de cada animal, de pelo menos duas lâminas; se forem contadas menos de 100 células/animal, deve ser fornecida uma justificação. As contagens dos grânulos dos núcleos em fase S não são tomadas em consideração, mas a proporção de células em fase S pode ser registada.

O grau de incorporação da ^3H -TdR nos núcleos e citoplasma das células morfológicamente normais, evidenciado pelo depósito de grânulos de prata, deve ser determinado por métodos apropriados.

As contagens de grânulos são determinadas nos núcleos (grânulos nucleares, NG) e em sectores do citoplasma equivalentes ao núcleo (grânulos citoplásmicos, CG). As contagens de CG são feitas no sector do citoplasma mais rotulado ou fazendo a média de dois ou três locais com grânulos citoplásmicos escolhidos aleatoriamente junto à região do núcleo. Outros métodos de contagem (por exemplo, contagem de células inteiras) podem ser utilizados, se se justificarem (6).

2. DADOS

2.1. TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Devem ser apresentados dados relativos a cada lâmina e a cada animal. Para além disso, todos os dados devem ser apresentados sob a forma de um quadro. As contagens de granulação nuclear líquida (NNG) devem ser calculadas para cada célula, para cada animal, para cada dose e para cada tempo de colheita subtraindo as contagens CG das contagens NG. Se forem contadas as «células em reparação», os critérios para definir essas células devem ser justificados e baseados em dados históricos ou dos controlos negativos realizados em paralelo com o ensaio. Os resultados numéricos podem ser avaliados através de métodos estatísticos. Os métodos estatísticos a utilizar eventualmente devem ser escolhidos e justificados antes da realização do estudo.

2.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Os exemplos de critérios para a definição de uma resposta como positiva/negativa incluem:

positiva	i) Valores de NNG positivos, acima de um limiar pré-definido justificado com base nos dados históricos do laboratório; ou
	ii) Valores de NNG significativamente superiores aos do controlo em paralelo;
negativa	i) Valores de NNG iguais/inferiores ao limiar de controlo histórico; ou
	ii) Valores de NNG não significativamente superiores aos do controlo em paralelo.

A importância biológica dos dados deve ser considerada, ou seja, devem ser tomados em consideração parâmetros como a variação de animal para animal, a relação dose/resposta e a citotoxicidade. Como auxílio para a avaliação dos resultados dos ensaios, poderão ser utilizados métodos estatísticos, embora a significância estatística não deva ser o único elemento para a determinação de uma resposta positiva.

Embora a maioria de experiências tenha resultados claramente positivos ou negativos, em casos raros o conjunto dos dados não permitirá que se obtenha uma opinião inequívoca sobre a actividade da substância em estudo, podendo acontecer que os resultados continuem a ser ambíguos ou duvidosos independentemente do número de vezes que a experiência seja repetida.

Um resultado positivo no ensaio UDS em células do fígado de mamíferos *in vivo* indica que a substância em estudo induz danos no ADN das células do fígado de mamíferos *in vivo* que podem ser reparados por síntese não programada de ADN *in vitro*. Um resultado negativo indica que, nas condições do ensaio, a substância em estudo não induz danos no ADN que sejam detectáveis pelo presente ensaio.

Deve ser discutida a probabilidade de a substância em estudo ou os seus metabolitos alcançarem o sistema circulatório geral ou especificamente o tecido objectivo (ou seja, a toxicidade sistémica).

3. APRESENTAÇÃO DE RELATÓRIOS

RELATÓRIO DE ENSAIO

O relatório de ensaio deve incluir a seguinte informação:

Solvente/veículo:

- justificação para a escolha do veículo,
- solubilidade e estabilidade da substância em estudo no solvente/veículo, se conhecida.

Animais de ensaio:

- espécie/linha celular utilizada,
- número, idade e sexo dos animais,
- origem, condições de acomodação, alimentação, etc.,
- peso de cada animal no início do ensaio, incluindo a gama de pesos, a respectiva média e o desvio-padrão para cada grupo.

Condições de ensaio:

- controlos positivos e negativos veículo/solvente,
- resultados do estudo para definição da gama de doses, quando tenha sido realizado,
- justificação para a selecção das doses,
- preparação da substância em estudo,
- modo de administração da substância em estudo,
- justificação da via de administração escolhida,
- métodos usados para verificar se o agente em estudo atingiu o sistema circulatório geral, caso tenham sido utilizados,
- conversão da concentração da substância em estudo na alimentação/abeberação (ppm) para a dose real (mg/kg peso corporal/dia), quando aplicável,
- qualidade dos alimentos e da água,
- descrição pormenorizada dos calendários de tratamento e amostragem,
- métodos de medição da toxicidade,
- método de preparação e cultura das células do fígado,
- técnica de autoradiografia utilizada,

- número de lâminas preparadas e número de células contabilizadas,
- critérios de avaliação,
- critérios definidos para que o estudo seja considerado positivo, negativo ou não conclusivo.

Resultados:

- valores médios das contagens de grânulos nucleares, grânulos citoplásmicos e da granulação nuclear líquida para cada lâmina, animal e grupo,
- relação dose-resposta, quando seja possível de determinar,
- análise estatística, quando tenha sido realizada,
- sinais de toxicidade,
- dados relativos aos controlos positivos e negativos (solvente/veículo) realizados em paralelo com o ensaio,
- dados históricos relativos aos controlos positivos e negativos (solvente/veículo) realizados em paralelo com o ensaio, com as respectivas gama, valor médio e desvio-padrão,
- número de células «em reparação», caso tenham sido contabilizadas,
- número de células em fase S, caso tenham sido contadas,
- viabilidade das células.

Discussão dos resultados.

Conclusões.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Ashby, J., Lefevre, P.A., Burlinson, B. and Penman, M.G., (1985) An Assessment of the *In Vivo* Rat Hepatocyte DNA Repair Assay. *Mutation Res.*, 156, p. 1-18.
- (2) Butterworth, B.E., Ashby, J., Bermudez, E., Casciano, D., Mirsalis, J., Probst, G. and Williams, G., (1987) A Protocol and Guide for the *In Vivo* Rat Hepatocyte DNA-Repair Assay. *Mutation Res.* 189, p. 123-133.
- (3) Kennelly, J.C., Waters, R., Ashby, J., Lefevre, P.A., Burlinson, B., Benford, D.J., Dean, S.W. and Mitchell, I. de G., (1993) *In Vivo* Rat Liver UDS Assay. In: Kirkland D.J. and Fox M., (Eds) *Supplementary Mutagenicity Tests: UKEM Recommended Procedures. UKEMS Subcommittee on Guidelines for Mutagenicity Testing. Report. Part II revised.* Cambridge University Press, Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney, p. 52-77.
- (4) Madle, S., Dean, S.W., Andrae, U., Brambilla, G., Burlinson, B., Doolittle, D.J., Furihata, C., Hertner, T., McQueen, C.A. and Mori, H., (1993) Recommendations for the Performance of UDS Tests *In Vitro* and *In Vivo*. *Mutation Res.*, 312, p. 263-285.
- (5) Fautz, R., Hussain, B., Efstathiou, E. and Hechenberger-Freudl, C., (1993) Assessment of the Relation Between the Initial Viability and the Attachment of Freshly Isolated Rat Hepatocytes Used for the *In Vivo/In Vitro* DNA Repair Assay (UDS). *Mutation Res.*, 291, p. 21-27.
- (6) Mirsalis, J.C., Tyson, C.K. and Butterworth, B.E., (1982) Detection of Genotoxic Carcinogens in the *In Vivo/In Vitro* Hepatocyte DNA Repair Assay. *Environ. Mutagen*, 4, p. 553-562.

B.40. CORROSÃO DA PELE *IN VITRO*: ENSAIO DA RESISTÊNCIA ELÉCTRICA TRANSCUTÂNEA (RET)**1. MÉTODO**

Este método de ensaio é equivalente ao OECD TG 430 (2004).

1.1. INTRODUÇÃO

Entende-se por corrosão da pele a produção de danos irreversíveis nos tecidos cutâneos por aplicação de uma matéria em estudo (definida de acordo com o sistema harmonizado global de classificação e rotulagem das misturas e substâncias químicas) (1). O presente método permite determinar a corrosividade sem recorrer a animais vivos.

A determinação da corrosividade cutânea tem normalmente feito uso de animais de laboratório (2). A preocupação com a dor e o sofrimento inerentes a esse processo levou à revisão do método de ensaio B.4, tendo passado a ser possível determinar a corrosão da pele por métodos alternativos (*in vitro*), que evitam a dor e o sofrimento de animais.

A primeira etapa com vista à definição de ensaios alternativos que pudessem ser utilizados na determinação da corrosividade cutânea num contexto legislativo foi a realização de estudos de pré-validação (3). Seguidamente, foi realizado um estudo com vista à validação formal de métodos *in vitro* para a determinação da corrosão da pele (4) (5) (6) (7) (8). O resultado desses estudos e outra literatura publicada conduziram à recomendação de que poderiam ser utilizados para determinar a corrosividade cutânea *in vivo* (9) (10) (11) o ensaio em modelos de pele humana (ver o método de ensaio B.40.A) e o presente ensaio (ensaio da resistência eléctrica transcutânea).

Um estudo de validação e outros estudos publicados concluíram que o ensaio da resistência eléctrica transcutânea (RET) em pele de rato (12) (13) permite distinguir com fiabilidade as substâncias reconhecidamente corrosivas da pele das que o não são (5) (9).

O ensaio descrito no presente método permite identificar misturas e substâncias químicas corrosivas. Permite igualmente identificar misturas e substâncias químicas não-corrosivas, quando associado a outras informações disponíveis (por exemplo, pH, relações estrutura-actividade, dados humanos ou em animais) que corroborem tais características (1) (2) (11) (14). O método não dá informações sobre a irritação da pele, nem permite dividir as substâncias corrosivas em categorias (como as previstas no sistema de classificação harmonizado global) (1).

Para uma avaliação completa dos efeitos locais na pele após uma exposição única por via dérmica recomenda-se a aplicação da estratégia de ensaio sequencial apenas ao método de ensaio B.4 (2) e associada ao sistema harmonizado global (1). Essa estratégia de ensaio inclui a realização de ensaios de corrosão da pele (descritos no presente método) e de irritação da pele *in vitro* antes de ser ponderada a realização de ensaios em animais vivos.

1.2. DEFINIÇÕES

Corrosão da pele *in vivo*: Produção de danos irreversíveis à pele, nomeadamente a necrose visível da epiderme, prolongando-se para a derme, após a aplicação de uma substância em estudo durante um máximo de quatro horas. São exemplos típicos de reacções corrosivas as úlceras, hemorragias e escaras sanguinolentas e, para o final do período de observação de 14 dias, a descoloração, devido à perda de pigmentação da pele, a formação de zonas de alopecia total e a ocorrência de cicatrizes. As lesões duvidosas poderão ser esclarecidas por métodos histopatológicos.

Resistência eléctrica transcutânea (RET): Valor da resistência em kΩ medido para a impedância eléctrica da pele. Trata-se de um método simples e robusto de avaliação da função de barreira por meio do registo do fluxo iónico através da pele com uma ponte de Wheatstone.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Quadro 1

Substâncias químicas de referência

Denominação	Número EINECS	Número CAS	
1,2-Diaminopropano	201-155-9	78-90-0	Extremamente corrosivo

Denominação	Número EINECS	Número CAS	
Ácido acrílico	201-177-9	79-10-7	Extremamente corrosivo
2-terc-Butilfenol	201-807-2	88-18-6	Corrosivo
Hidróxido de potássio (10 %)	215-181-3	1310-58-3	Corrosivo
Ácido sulfúrico (10 %)	231-639-5	7664-93-9	Corrosivo
Ácido octanóico (ácido caprílico)	204-677-5	124-07-02	Corrosivo
4-Amino-1,2,4-triazole	209-533-5	584-13-4	Não corrosivo
Eugenol	202-589-1	97-53-0	Não corrosivo
Brometo de fenetilo	203-130-8	103-63-9	Não corrosivo
Tetracloroetileno	204-825-9	27-18-4	Não corrosivo
Ácido isoesteárico	250-178-0	30399-84-9	Não corrosivo
4-(Metiltio)-benzaldeído	222-365-7	3446-89-7	Não corrosivo

A maioria das substâncias químicas constantes do quadro foi retomada da lista seleccionada para o estudo de validação internacional do ECVAM (4). A selecção baseia-se nos seguintes critérios:

- i) Número idêntico de substâncias corrosivas e não corrosivas;
- ii) Substâncias disponíveis no comércio e da maioria das classes químicas pertinentes;
- iii) Inclusão de substâncias extremamente corrosivas e de substâncias menos corrosivas, para possibilitar uma diferenciação com base no poder corrosivo;
- iv) Escolha de substâncias químicas que podem ser manuseadas no laboratório sem outros perigos graves além da corrosividade.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Aplica-se a matéria em estudo, durante 24 horas, sobre a superfície epidérmica de discos cutâneos num sistema de ensaio com dois compartimentos, no qual o disco estabelece a separação entre os compartimentos. Os discos cutâneos são retirados de ratos com 28 a 30 dias de idade, mortos sem crueldade. As matérias corrosivas são identificadas pela sua capacidade de causarem uma perda da integridade normal do *stratum corneum* e da função de barreira, perda essa que é medida pela descida da RET abaixo de um determinado limite (12). Para determinação da RET na pele do rato, foi seleccionado um valor-limite de 5 kΩ, com base numa multiplicidade de dados obtidos com uma vasta gama de substâncias químicas, situando-se a grande maioria dos valores claramente muito acima (frequentemente > 10 kΩ) ou muito abaixo (frequentemente < 3 kΩ) desse valor (12). Em geral, as matérias não corrosivas para os animais, mas simplesmente irritantes (ou não irritantes), não reduzem a RET abaixo daquele valor-limite. A utilização de outras preparações cutâneas ou de outros equipamentos pode alterar o valor-limite, necessitando da correspondente validação.

O método inclui uma etapa de ligação de um corante, para a confirmação dos resultados positivos na determinação da RET (incluindo próximos de 5 kΩ). A etapa de ligação do corante esclarece se o aumento de permeabilidade iónica se deve à destruição física do *stratum corneum*. O método de determinação da RET em pele de rato revelou-se capaz de prever a corrosividade *in vivo* no coelho, determinada pelo método de ensaio B.4 (2). De referir que o ensaio *in vivo* da corrosividade para a pele e da irritação da pele no coelho é fortemente conservador, comparativamente ao ensaio do emplastro cutâneo em pessoas (15).

1.5. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO**7.5.7. Os animais**

O rato é a espécie escolhida por ter sido demonstrada a sensibilidade da pele desses animais às substâncias químicas utilizadas no ensaio (10). A linhagem e idade do rato (no momento da colheita da pele) assumem particular importância, devendo os folículos pilosos encontrar-se na fase de dormência, antes do crescimento da pilosidade adulta.

Com uma pequena tosquiadora, cortam-se cuidadosamente os pêlos dorsais e dos flancos de ratos fêmeas ou machos jovens (linhagem Wistar ou comparável), com aproximadamente 22 dias de idade. Os animais são depois lavados, esfregando cuidadosamente, devendo a zona tosquiada da pele ser mergulhada numa solução antibiótica (contendo, por exemplo, estreptomicina, penicilina, cloranfenicol e anfotericina em concentrações suficientes para inibir o crescimento bacteriano). Os animais voltam a ser lavados com solução antibiótica no terceiro ou quarto dia após a primeira lavagem e são utilizados nos três dias seguintes à segunda lavagem, quando o *stratum corneum* tiver recuperado da tosquia.

1.5.2. Preparação dos discos cutâneos

Os animais são mortos sem crueldade entre a idade de 28 e 30 dias (esta idade é muito importante). Em seguida, retira-se a pele dorsal lateral dos animais e remove-se a gordura subcutânea em excesso, raspando cuidadosamente. Cortam-se discos cutâneos de aproximadamente 20 mm de diâmetro. A pele pode ser guardada antes da utilização dos discos, desde que se demonstre que os dados de controlo (positivos e negativos) são equivalentes aos obtidos com pele fresca.

Cada disco cutâneo é colocado numa das extremidades de um tubo de politetrafluoroetileno (PTFE), com a superfície epidérmica em contacto com o tubo. A pele é bem fixada na extremidade do tubo com uma anilha tórica tensa de borracha, eliminando-se o tecido em excesso. As dimensões do tubo e da anilha são as indicadas na figura 2. A anilha é a seguir envolvida em vaselina, de forma a garantir a estanquidade da sua união com o tubo de PTFE. O tubo é depois suspenso, com uma tampa-suporte de molas, dentro de uma câmara receptora com uma solução de sulfato de magnésio (MgSO_4) 154 mM (figura 1). O disco cutâneo deve ficar totalmente imerso na solução de MgSO_4 . Cada pele de rato pode fornecer de 10 a 15 discos cutâneos.

Como procedimento de controlo de qualidade, antes de se iniciar o ensaio mede-se a resistência eléctrica de dois discos cutâneos de cada pele de animal. Para que os restantes discos possam ser utilizados no ensaio, ambos os discos devem permitir obter valores de resistência superiores a 10 k Ω . Se o valor da resistência for inferior a 10 k Ω os discos restantes da pele em causa serão rejeitados.

1.5.3. Aplicação das substâncias em estudo e de controlo

Para garantir a adequabilidade do modelo experimental, devem utilizar-se em paralelo, em cada estudo, uma amostra de controlo positiva e uma amostra de controlo negativa. Devem ser utilizados para o efeito discos cutâneos de um só animal. Como substâncias de controlo sugerem-se o ácido clorídrico 10 M (positivo) e a água destilada (negativo).

As substâncias em estudo líquidas são aplicadas uniformemente (150 μl) na superfície epidérmica no interior do tubo. Quando a matéria ensaiada for sólida, aplicar-se-á uniformemente no disco uma quantidade suficiente da mesma, de modo a cobrir toda a superfície epidérmica. Em seguida, deita-se água desionizada (150 μl) por cima do sólido e agita-se suavemente o tubo. Para garantir um contacto máximo com a pele, pode ser necessário aquecer as matérias sólidas a 30 °C, para fundir ou amolecer a substância em estudo, ou moê-las, para produzir um pó ou granulado.

Para cada substância em estudo e substância de controlo serão utilizados três discos cutâneos. A substância em estudo é aplicada a uma temperatura compreendida entre 20 °C e 23 °C durante 24 horas. Em seguida, a substância em estudo é removida por lavagem em água corrente a uma temperatura máxima de 30 °C, até remoção completa.

1.5.4. Medições de RET

Mede-se a impedância (RET) da pele utilizando uma ponte de Wheatstone de baixa tensão de corrente alternada (13). As especificações gerais da ponte de Wheatstone são as seguintes: tensão operacional de 1 V a 3 V, corrente alternada sinusoidal ou rectangular de 50 Hz a 1 000 Hz e gama de medição de pelo menos 0,1 k Ω a 30 k Ω . A ponte utilizada no estudo de validação media valores de indutância, capacitância e resistência até 2 000 H, 2 000 μF e 2 M Ω , respectivamente, a frequências de 100 Hz ou 1 kHz, utilizando valores em série ou em paralelo. Para o ensaio RET de corrosividade, as medições são registadas em resistência, à frequência de 100 Hz, utilizando valores em série. Antes da medição da resistência eléctrica, reduz-se a tensão superficial da pele adicionando um volume de etanol a 70 % suficiente para cobrir toda a epiderme. Após alguns segundos, remove-se o etanol do tubo e hidrata-se o tecido adicionando 3 ml de solução de sulfato de magnésio 154 mM. Para medir a resistência do disco cutâneo em k Ω , colocam-se os eléctrodos da ponte de Wheatstone de cada um dos lados do disco (figura 1). As dimensões dos eléctrodos e o comprimento de cada eléctrodo abaixo da pinça tipo crocodilo são indicados na figura 2. A pinça aplicada ao eléctrodo interno deve ficar apoiada no rebordo do tubo de PTFE durante a medição da resistência, de forma a garantir que o comprimento de eléctrodo mergulhado na solução de sulfato de magnésio seja constante. O eléctrodo externo deve ser colocado dentro da câmara receptora de forma a tocar no fundo da mesma. A distância entre a tampa-suporte de molas (*spring clip*)

e o fundo do tubo de PTFE deve ser mantida constante (figura 2), porque afecta o valor de resistência medido. A distância entre o eléctrodo interno e o disco cutâneo deve ser mínima (1 mm a 2 mm) e constante.

Se o valor de resistência medido exceder 20 k Ω , tal pode dever-se à presença de restos da substância em estudo na superfície epidérmica do disco cutâneo. Para eliminar essas matérias, poderá, por exemplo, tapar-se o tubo de PTFE com o polegar, usando luvas de borracha, e agitar-se durante cerca de 10 segundos. Rejeita-se a solução de sulfato de magnésio e repete-se a medição da resistência com solução fresca de MgSO₄.

As propriedades e dimensões da montagem de ensaio e o procedimento experimental aplicado podem influenciar os valores de RET obtidos. O limite de corrosão de 5 k Ω foi estabelecido a partir de dados obtidos com a montagem e segundo os procedimentos especificamente descritos no presente método. Poderão ser aplicáveis outros valores-limite e de controlo se as condições de ensaio forem alteradas ou for utilizada uma montagem diferente. É, portanto, necessário calibrar a metodologia e os valores-limite de resistência ensaiando uma série de padrões de referência seleccionados das substâncias químicas utilizadas no estudo de validação (4) (5), ou de classes químicas similares às das substâncias químicas em estudo. Figuram no quadro 1 uma série de substâncias químicas adequadas.

1.5.5. Métodos da ligação de corante

A exposição a determinadas matérias não corrosivas pode originar uma redução da resistência para valores inferiores ao limite de 5 k Ω , ao permitir a passagem de iões através do *stratum corneum*, que se traduz numa redução da resistência eléctrica (5). Determinados compostos orgânicos neutros e substâncias químicas tensioactivas (detergentes, emulsionantes e outras substâncias tensioactivas), por exemplo, podem remover os lípidos cutâneos, daí resultando uma maior permeabilidade iónica da barreira. Por esta razão, se os valores de RET das substâncias em estudo forem inferiores a 5 kV ou próximos deste limite, sem que haja danos visíveis, deve ser efectuada uma avaliação da penetração de um corante nos tecidos de controlo e nos tecidos tratados, para determinar se os valores de RET obtidos se deveram a uma maior permeabilidade cutânea ou à corrosão da pele (3) (5). Neste último caso, se o *stratum corneum* estiver danificado, o corante sulforrodamina B, uma vez aplicado na superfície da pele, penetrará rapidamente e colorará o tecido subjacente. Este corante específico é estável a uma grande variedade de substâncias químicas e não é afectado pelo processo de extracção acima referido.

1.5.5.1. Aplicação e eliminação do corante sulforrodamina B

Depois da determinação da RET, a solução de sulfato de magnésio é removida do tubo e verifica-se cuidadosamente se a pele apresenta danos evidentes. Se a pele não apresentar danos importantes evidentes, aplica-se um volume de 150 μ l de uma solução a 10 % (m/v) de corante sulforrodamina B (vermelho ácido 52; C.I. 45100; n.º EINECS 222-529-8; n.º CAS 3520-42-1), em água destilada, à superfície epidérmica de cada disco cutâneo, durante duas horas. Lavam-se em seguida os discos em água corrente, à temperatura ambiente, durante cerca de 10 segundos, a fim de remover o corante em excesso/não fixado. Retiram-se cuidadosamente os discos cutâneos de cada tubo de PTFE e colocam-se num recipiente (por exemplo, um frasco de vidro de 20 ml) com água desionizada (8 ml). Agitam-se cuidadosamente os frascos durante 5 minutos, para remover os restos de corante que eventualmente não se tenham fixado. Repete-se este procedimento de lavagem e transferem-se os discos cutâneos para frascos que contenham 5 ml de uma solução a 30 % (m/v) de dodecilsulfato de sódio em água destilada, incubando-se a 60 °C de um dia para o outro.

Depois da incubação, os discos cutâneos são retirados e rejeitados e a solução remanescente em cada frasco é centrifugada durante 8 minutos a 21 °C (força relativa de centrifugação: $\sim 175 \times g$). Dilui-se então 1:5 (v/v- ou seja, 1 ml + 4 ml) uma amostra de 1 ml do líquido sobrenadante com uma solução a 30 % (m/v) de dodecilsulfato de sódio em água destilada. Mede-se a densidade óptica da solução resultante a 565 nm.

1.5.5.2. Cálculo da concentração de corante

A concentração do corante sulforrodamina B por disco é calculada a partir dos valores de densidade óptica (5) (coeficiente de extinção molar do corante sulforrodamina B a 565 nm = $8,7 \times 10^4$; massa molecular = 580). Utilizando uma curva de calibração apropriada, determina-se a concentração de corante correspondente a cada disco cutâneo, calculando-se em seguida uma concentração média de corante para os replicados.

2. RESULTADOS

Os valores de resistência (em k Ω) e os valores médios da concentração de corante (μ g/disco), se for caso disso, correspondentes à matéria em estudo e às amostras de controlo positiva e negativa devem ser apresentados num quadro recapitulativo de resultados individuais e de médias $\pm$ desvio-padrão (incluindo resultados dos replicados/repetições e os valores individuais e médios).

2.1. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Os valores médios de RET obtidos serão aceites se os valores das amostras de controlo positiva e negativa correspondentes se encontrarem dentro dos intervalos aceitáveis para o método no laboratório de ensaio. Os intervalos de resistência aceitáveis para o método e a montagem acima descritos são indicados no quadro seguinte:

Amostra de controlo	Substância	Intervalo de resistência (kΩ)
Positiva	Ácido clorídrico 10 M	0,5-1,0
Negativa	Água destilada	10-25

Os valores médios obtidos para a ligação do corante serão aceites se os valores das amostras de controlo correspondentes se encontrarem dentro dos intervalos aceitáveis para o método. Os intervalos aceitáveis de concentração de corante que se sugerem para as substâncias de controlo, para o método e a montagem acima descritos, são indicados no quadro seguinte:

Amostra de controlo	Substância	Intervalo de concentração de corante (µg/disco)
Positiva	Ácido clorídrico 10 M	40-100
Negativa	Água destilada	15-35

A substância em estudo será considerada não corrosiva da pele:

- i) Se o valor médio de RET obtido para a substância em estudo exceder 5 kΩ, ou
- ii) Se o valor médio de RET foi inferior ou igual a 5 kΩ, e
 - o disco cutâneo não apresentar danos evidentes, e
 - a concentração média de corante do disco for bastante inferior à concentração média de corante do disco da amostra de controlo positiva de HCl 10 M correspondente.

A substância em estudo será considerada corrosiva da pele:

- i) Se o valor médio de RET foi inferior ou igual a 5 kΩ e o disco cutâneo apresentar danos evidentes, ou
- ii) Se o valor médio de RET foi inferior ou igual a 5 kΩ, e
 - o disco cutâneo não apresentar danos evidentes, mas
 - a concentração média de corante do disco for igual ou superior à concentração média de corante do disco da amostra de controlo positiva de HCl 10 M correspondente.

3. RELATÓRIOS

3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deve incluir as seguintes informações:

Substâncias em estudo e de controlo:

- Denominação ou denominações químicas (como as denominações IUPAC ou CAS e o n.º CAS, se forem conhecidos);
- Grau de pureza e composição da substância ou preparação (em percentagem ponderal), natureza física;

- Propriedades físico-químicas (estado físico, pH, estabilidade, hidrossolubilidade) relevantes para o estudo;
- Tratamento das substâncias em estudo/de controlo antes do ensaio, se for o caso (por exemplo, aquecimento, moagem);
- Estabilidade, se for conhecida.

Animais utilizados no ensaio:

- Linhagem e sexo utilizados;
- Idade dos animais no momento em que foram dados;
- Proveniência, condições de alojamento, alimentação, etc.;
- Pormenores sobre a preparação da pele.

Condições de ensaio:

- Curvas de calibração da montagem de ensaio;
- Curvas de calibração para o ensaio de ligação do corante;
- Pormenores sobre o método de ensaio utilizado na medição das RET;
- Pormenores sobre o método de ensaio utilizado na medição da ligação do corante, se tiver sido o caso;
- Descrição de eventuais modificações dos métodos de ensaio;
- Descrição dos critérios de avaliação utilizados.

Resultados:

- Quadro recapitulativo dos resultados dos ensaios de determinação das RET e da ligação do corante (se tiver sido o caso), por animal e amostra de pele;
- Descrição dos efeitos eventualmente observados.

Discussão dos resultados.

Conclusões.

4. REFERÊNCIAS

- (1) OECD, (2001) Harmonised Integrated Classification System for Human Health and Environmental Hazards of Chemical Substances and Mixtures. OECD Series on Testing and Assessment Number 33. ENV/JM/MONO(2001)6, Paris. [http://www.olis.oecd.org/olis/2001doc.nsf/LinkTo/env-jm-mono\(2001\)6](http://www.olis.oecd.org/olis/2001doc.nsf/LinkTo/env-jm-mono(2001)6).
- (2) Testing Method B.4. Acute Toxicity: Dermal Irritation/Corrosion.
- (3) Botham, P.A., Chamberlain, M., Barratt, M.D., Curren, R.D., Esdaile, D.J., Gardner, J.R., Gordon, V.C., Hildebrand, B., Lewis, R.W., Liebsch, M., Logemann, P., Osborne, R., Ponc, M., Regnier, J.F., Steiling, W., Walker, A.P., and Balls, M., (1995) A prevalidation study on *in vitro* skin corrosivity testing. The report and recommendations of ECVAM Workshop 6. ATLA 23, p. 219-255.

- (4) Barratt, M.D., Brantom, P.G., Fentem, J.H., Gerner, I., Walker, A.P., and Worth, A.P., (1998) The ECVAM international validation study on *in vitro* tests for skin corrosivity. 1. Selection and distribution of the test chemicals. *Toxicology In Vitro* 12, p. 471-482.
- (5) Fentem, J.H., Archer, G.E.B., Balls, M., Botham, P.A., Curren, R.D., Earl, L.K., Esdaile, D.J., Holzhütter, H.-G., and Liebsch, M., (1998) The ECVAM international validation study on *in vitro* tests for skin corrosivity. 2. Results and evaluation by the Management Team. *Toxicology In Vitro* 12, p. 483-524.
- (6) OECD, (1996) Final Report of the OECD Workshop on Harmonisation of Validation and Acceptance Criteria for Alternative Toxicological Test Methods, p. 62
- (7) Balls, M., Blaauboer, B.J., Fentem, J.H., Bruner, L., Combes, R.D., Ekwall, B., Fielder, R.J., Guillouzo, A., Lewis, R.W., Lovell, D.P., Reinhardt, C.A., Repetto, G., Sladowski, D., Spielmann, H., and Zucco, F., (1995) Practical aspects of the validation of toxicity test procedures. The report and recommendations of ECVAM workshops. *ATLA* 23, p. 129-147.
- (8) ICCVAM, (Interagency Coordinating Committee on the Validation of Alternative Methods), (1997) Validation and Regulatory Acceptance of Toxicological Test Methods. NIH Publication No 97-3981. National Institute of Environmental Health Sciences, Research Triangle Park, NC, USA. <http://iccvam.niehs.nih.gov/docs/guidelines/validate.pdf>
- (9) ECVAM, (1998) ECVAM News & Views. *ATLA* 26, p. 275-280.
- (10) ICCVAM (Interagency Coordinating Committee on the Validation of Alternative Methods), (2002) ICCVAM evaluation of EpiDerm™, EpiSkin™ (EPI-200), and the Rat Skin Transcutaneous Electrical Resistance (TER) assay: In Vitro test methods for assessing dermal corrosivity potential of chemicals. NIH Publication No 02-4502. National Toxicology Program Interagency Center for the Evaluation of Alternative Toxicological Methods, National Institute of Environmental Health Sciences, Research Triangle Park, NC, USA. http://iccvam.niehs.nih.gov/methods/epidocs/epis_brd.pdf.
- (11) OECD (2002) Extended Expert Consultation Meeting on The In Vitro Skin Corrosion Test Guideline Proposal, Berlin, 1st –2nd November 2001, Secretariat's Final Summary Report, 27th March 2002, OECD ENV/EHS, available upon request from the Secretariat
- (12) Oliver, G.J.A., Pemberton, M.A., and Rhodes, C., (1986) An *in vitro* skin corrosivity test -modifications and validation. *Fd. Chem. Toxicol.* 24, p. 507-512.
- (13) Botham, P.A., Hall, T.J., Dennett, R., McCall, J.C., Basketter, D.A., Whittle, E., Cheeseman, M., Esdaile, D.J., and Gardner, J., (1992) The skin corrosivity test *in vitro*: results of an interlaboratory trial. *Toxic. In Vitro* 6, p. 191-194.
- (14) Worth A.P., Fentem J.H., Balls, M., Botham, P.A., Curren, R.D., Earl, L.K., Esdaile D.J., Liebsch, M., (1998) An Evaluation of the Proposed OECD Testing Strategy for Skin Corrosion. *ATLA* 26, p. 709-720.
- (15) Basketter, D.A., Chamberlain, M., Griffiths, H.A., Rowson, M., Whittle, E., York, M., (1997) The classification of skin irritants by human patch test. *Fd. Chem. Toxicol.* 35, p. 845-852.
- (16) Oliver G.J.A, Pemberton M.A and Rhodes C., (1988) An *In Vitro* model for identifying skin-corrosive chemicals. I. Initial Validation. *Toxicology In Vitro*. 2, p. 7-17.

Figura 1

Montagem para o ensaio da RET em pele de rato

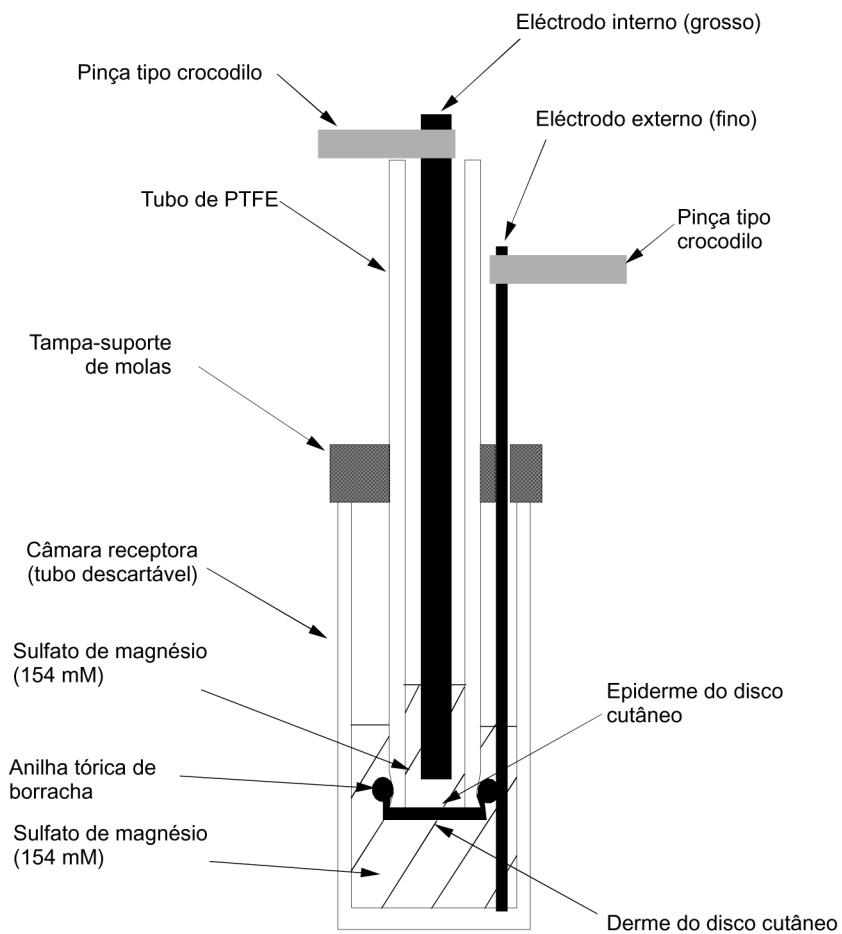
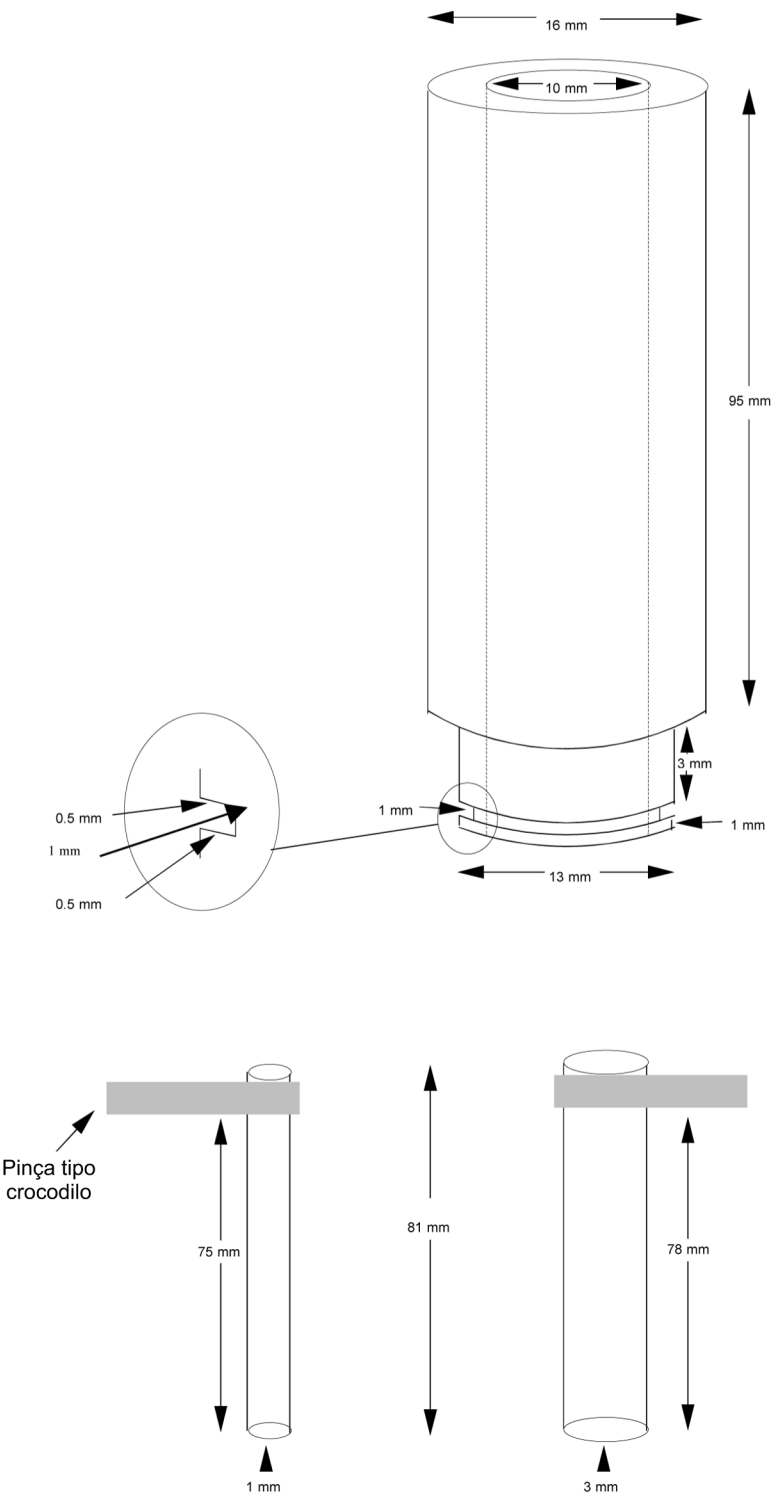


Figura 2

Dimensões do tubo de politetrafluoroetileno (PTFE) e do tubo receptor, bem como dos eléctrodos utilizados



Factores críticos da montagem ilustrada:

- Diâmetro interno do tubo de PTFE;
- Comprimento dos eléctrodos em relação ao tubo de PTFE e ao tubo receptor, para que os eléctrodos não toquem no disco cutâneo e de modo que um comprimento fixo de eléctrodo esteja em contacto com a solução de MgSO_4 ;
- A quantidade de solução de MgSO_4 no tubo receptor deve proporcionar um nível de líquido, em relação ao nível no tubo de PTFE, conforme o ilustrado na figura 1;
- O disco cutâneo deve ser convenientemente fixado ao tubo de PTFE, para que a resistência eléctrica seja uma medida fiável das propriedades da pele.

B.40.A. **CORROSÃO DA PELE IN VITRO: ENSAIO EM MODELOS DE PELE HUMANA**1. **MÉTODO**

Este método de ensaio é equivalente ao OECD TG 431 (2004).

1.1. **INTRODUÇÃO**

Entende-se por corrosão da pele a produção de danos irreversíveis nos tecidos cutâneos por aplicação de uma matéria em estudo (definida de acordo com o sistema harmonizado global de classificação e rotulagem das misturas e substâncias químicas) (1). O presente método de ensaio não requer a utilização de animais vivos, nem de tecidos animais, para a determinação da corrosividade cutânea.

A determinação da corrosividade cutânea tem normalmente feito uso de animais de laboratório (2). A preocupação com a dor e o sofrimento inerentes a esse processo levou à revisão do método de ensaio B.4, tendo passado a ser possível determinar a corrosão da pele por métodos alternativos (*in vitro*), que evitam a dor e o sofrimento de animais.

A primeira etapa com vista à definição de ensaios alternativos que pudessem ser utilizados na determinação da corrosividade cutânea num contexto legislativo foi a realização de estudos de pré-validação (3). Seguidamente, foi realizado um estudo com vista à validação formal de métodos *in vitro* para a determinação da corrosão da pele (4) (5) (6) (7) (8). O resultado desses estudos e outra literatura publicada (9) conduziram à recomendação de que poderiam ser utilizados para determinar a corrosividade cutânea *in vivo* (10) (11) (12) (13) o ensaio em modelos de pele humana (o presente método) e o ensaio da resistência eléctrica transcutânea (ver o método de ensaio B.40).

Os estudos de validação concluíram que os ensaios em modelos de pele humana (3) (4) (5) (9) permitem distinguir com fiabilidade as substâncias reconhecidamente corrosivas da pele das que o não são. O protocolo de ensaio pode estabelecer igualmente uma primeira distinção entre substâncias muito corrosivas e menos corrosivas da pele.

O ensaio descrito no presente método permite identificar misturas e substâncias químicas corrosivas. Permite igualmente identificar misturas e substâncias químicas não corrosivas, quando associado a outras informações disponíveis (por exemplo, pH, relações estrutura-actividade, dados humanos ou em animais) que corroborem tais características (1) (2) (13) (14). O método não permite normalmente obter informações adequadas sobre a irritação da pele, nem permite dividir as substâncias corrosivas em categorias (como as previstas no sistema de classificação harmonizado global) (1).

Para uma avaliação completa dos efeitos locais na pele após uma exposição única por via dérmica recomenda-se a aplicação da estratégia de ensaio sequencial apensa ao método de ensaio B.4 (2) e associada ao sistema harmonizado global (1). Essa estratégia de ensaio inclui a realização de ensaios de corrosão da pele (descritos no presente método) e de irritação da pele *in vitro* antes de ser ponderada a realização de ensaios em animais vivos.

1.2. **DEFINIÇÕES**

Corrosão da pele *in vivo*: Produção de danos irreversíveis à pele, nomeadamente a necrose visível da epiderme, prolongando-se para a derme, após a aplicação de uma substância em estudo durante um máximo de quatro horas. São exemplos típicos de reacções corrosivas as úlceras, hemorragias e escaras sanguinolentas e, para o final do período de observação de 14 dias, a descoloração, devido à perda de pigmentação da pele, a formação de zonas de alopecia total e a ocorrência de cicatrizes. As lesões duvidosas poderão ser esclarecidas por métodos histopatológicos.

Viabilidade celular: Parâmetro que mede a actividade total de uma população celular (por exemplo, capacidade das desidrogenases mitocondriais celulares de reduzir o pigmento vital MTT); consoante o parâmetro determinado e o tipo de ensaio realizado, é possível correlacionar a viabilidade celular com o número total e/ou a vitalidade das células.

1.3. **SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA***Quadro 1***Substâncias químicas de referência**

Denominação	Número EINECS	Número CAS	
1,2-Diaminopropano	201-155-9	78-90-0	Extremamente corrosivo

Denominação	Número EINECS	Número CAS	
Ácido acrílico	201-177-9	79-10-7	Extremamente corrosivo
2-terc-Butilfenol	201-807-2	88-18-6	Corrosivo
Hidróxido de potássio (10 %)	215-181-3	1310-58-3	Corrosivo
Ácido sulfúrico (10 %)	231-639-5	7664-93-9	Corrosivo
Ácido octanóico (ácido caprílico)	204-677-5	124-07-02	Corrosivo
4-Amino-1,2,4-triazole	209-533-5	584-13-4	Não corrosivo
Eugenol	202-589-1	97-53-0	Não corrosivo
Brometo de fenetilo	203-130-8	103-63-9	Não corrosivo
Tetracloroetileno	204-825-9	27-18-4	Não corrosivo
Ácido isoesteárico	250-178-0	30399-84-9	Não corrosivo
4-(Metiltio)-benzaldeído	222-365-7	3446-89-7	Não corrosivo

A maioria das substâncias químicas constantes do quadro foi retomada da lista seleccionada para o estudo de validação internacional do ECVAM (4). A selecção baseia-se nos seguintes critérios:

- i) Número idêntico de substâncias corrosivas e não corrosivas;
- ii) Substâncias disponíveis no comércio e da maioria das classes químicas pertinentes;
- iii) Inclusão de substâncias extremamente corrosivas e de substâncias menos corrosivas, para possibilitar uma diferenciação com base no poder corrosivo;
- iv) Escolha de substâncias químicas que podem ser manuseadas no laboratório sem outros perigos graves além da corrosividade.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

A matéria em estudo é aplicada localmente num modelo tridimensional de pele humana que inclua, pelo menos, uma epiderme reconstruída, com um *stratum corneum* funcional. As matérias corrosivas são identificadas pela sua capacidade de diminuição da viabilidade celular [determinada, por exemplo, pelo ensaio de redução do MTT (15)] para valores inferiores a limites definidos após períodos de exposição especificados. O princípio do ensaio em modelos de pele humana baseia-se na hipótese de as substâncias químicas corrosivas conseguirem penetrar o *stratum corneum* por difusão ou erosão, revelando-se citotóxicas para as camadas celulares subjacentes.

1.4.1. Método**1.4.1.1. Modelos de pele humana**

Os modelos de pele humana podem ser construídos ou obtidos comercialmente (por exemplo, os modelos EpiDerm™ e EPIKIN™) (16) (17) (18) (19) ou ser desenvolvidos ou construídos no laboratório de ensaio (20) (21). É sabido que a utilização de pele humana está sujeita a condições e considerações nacionais e internacionais de natureza ética. Os novos modelos devem ser sempre validados (pelo menos na perspectiva descrita no ponto 1.4.1.1.2). Os modelos de pele humana utilizados no presente ensaio devem respeitar obrigatoriamente as seguintes condições:

1.4.1.1.1. Condições gerais do modelo

Na construção do epitélio devem ser utilizados queratinócitos humanos. Devem estar presentes múltiplas camadas de células epiteliais viáveis, sob um *stratum corneum* funcional. O modelo cutâneo também pode compreender uma camada estromática. O *stratum corneum* deve ter múltiplas camadas com o perfil lipídico necessário para produzir uma barreira funcional suficientemente robusta para resistir a uma penetração rápida de marcadores citotóxicos. As propriedades de contenção do modelo devem impedir a passagem de matéria para o tecido viável por contorno do *stratum corneum*. O contorno do *stratum corneum* pelas substâncias químicas em estudo redundaria numa modelização deficiente da exposição cutânea. O modelo cutâneo não deve estar contaminado por bactérias (incluindo micoplasmas) ou fungos.

1.4.1.1.2. Condições funcionais do modelo

O grau de viabilidade é normalmente quantificado utilizando MTT ou outros corantes vitais convertidos por via metabólica. Nesses casos, a densidade óptica do corante (solubilizado) extraído da amostra de controlo negativa de tecido deve ser, pelo menos, vinte vezes maior do que a densidade óptica do solvente de extracção isoladamente [ver mais pormenores em (22)]. A amostra de controlo negativa de tecido deve ser estável em cultura (deve permitir obter medições de viabilidade similares) durante o período de exposição do ensaio. O *stratum corneum* deve ser suficientemente robusto para resistir à penetração rápida de determinadas substâncias químicas marcadoras citotóxicas (por exemplo, o Triton X-10 a 1 %). Esta propriedade pode ser estimada através do tempo de exposição necessário para reduzir a viabilidade celular em 50 % (TE50) (no caso dos modelos EpiDerm e EPIKIN, por exemplo, esse tempo é superior a 2 horas). O tecido deve ser reproduzível ao longo do tempo e, de preferência, de laboratório para laboratório. Deve, além disso, permitir prever o poder corrosivo das substâncias químicas de referência (ver o quadro 1), quando utilizado no protocolo de ensaio seleccionado.

1.4.1.2. Aplicação das substâncias em estudo e de controlo

Em cada tratamento (tempo de exposição), incluindo no caso das amostras de controlo, é utilizado um duplicado de tecido. No caso das matérias líquidas, aplica-se uma quantidade de substância em estudo suficiente para cobrir uniformemente toda a superfície de pele (no mínimo 25 µl/cm²). No caso das matérias sólidas, aplica-se uniformemente uma quantidade de substância em estudo suficiente para cobrir toda a pele, sendo a mesma depois humidificada, com água desionizada ou destilada, para garantir um bom contacto com a pele. Se necessário, os sólidos serão reduzidos por moagem a uma forma pulverulenta antes da aplicação. O método de aplicação deve ser adequado à substância em estudo [ver, por exemplo, (5)]. Após o período de exposição, a matéria em estudo deve ser cuidadosamente removida da superfície da pele, por lavagem com uma solução-tampão adequada ou NaCl a 0,9 %.

Para garantir a adequabilidade do modelo experimental, devem utilizar-se em paralelo, em cada estudo, uma amostra de controlo positiva e uma amostra de controlo negativa. As substâncias sugeridas para as amostras de controlo positivas são o ácido acético glacial ou KOH 8N. Para as amostras de controlo negativas são sugeridos NaCl a 0,9 % ou água.

1.4.1.3. Medição da viabilidade celular

Na medição da viabilidade celular só poderão utilizar-se métodos quantitativos validados. O tipo de medição de viabilidade deve, além disso, poder ser utilizado num tecido de construção tridimensional. Não deve haver interferências de ligações inespecíficas de corantes na medição de viabilidade. Os corantes que se liguem a proteínas e os que não sofram conversão metabólica (por exemplo, o vermelho neutro) não são, portanto, adequados. O ensaio mais frequentemente utilizado é o da redução do MTT (brometo de 3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difeniltetrazólio, azul de tiazolil; n.º EINECS 206-069-5; n.º CAS 298-93-1), que se demonstrou permitir obter resultados rigorosos e reproduzíveis (5), embora possam ser utilizados outros. Coloca-se a amostra de pele numa solução de MTT de concentração apropriada (por exemplo, 0,3-1 mg/ml), a uma temperatura de incubação adequada, durante 3 horas. O precipitado azul do derivado formazan é depois extraído com um solvente (isopropanol), medindo-se a concentração do formazan por determinação da densidade óptica a um comprimento de onda compreendido entre 540 nm e 595 nm.

A acção química da matéria em estudo no corante vital pode assemelhar-se à do metabolismo celular, daí resultando uma estimativa falsa de viabilidade. Demonstrou-se a ocorrência deste fenómeno quando uma matéria em estudo com tais características não fora completamente removida da pele por lavagem (9). Se a matéria em estudo agir directamente sobre o corante vital, será necessário utilizar amostras de controlo suplementares para detectar e corrigir a interferência das substâncias em estudo na medição da viabilidade (9) (23).

2. RESULTADOS

Para cada tecido, os valores de densidade óptica e as percentagens calculadas de viabilidade celular correspondentes à matéria em estudo e às amostras de controlo positiva e negativa devem ser apresentados num quadro recapitulativo, incluindo os resultados dos replicados ou repetições, consoante o caso, e os valores individuais e médios.

2.1. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Os valores de densidade óptica obtidos para cada amostra em estudo podem ser utilizados para calcular uma percentagem de viabilidade em relação à amostra de controlo negativa (que é arbitrariamente fixada em 100 %). A percentagem de viabilidade celular que estabelece a diferenciação entre as matérias em estudo corrosivas e não corrosivas (ou entre diferentes classes de corrosividade) ou o(s) método(s) estatístico(s) utilizado(s) para avaliar os resultados e identificar as matérias corrosivas devem ser claramente definidos e documentados e deve ser demonstrado que são adequados. Em geral, esses valores-limite de diferenciação são estabelecidos durante a optimização dos ensaios, testados durante uma fase de pré-validação e confirmados num estudo de validação. A título de exemplo, a previsão de corrosividade associada ao modelo EpiDermTM é a seguinte (9):

A substância em estudo será considerada corrosiva da pele:

- i) Se a viabilidade após uma exposição de 3 minutos for inferior a 50 %; ou
- ii) Se a viabilidade após uma exposição de 3 minutos for igual ou superior a 50 % e a viabilidade após uma exposição de 1 hora for inferior a 15 %.

A substância em estudo será considerada não corrosiva da pele:

- i) Se a viabilidade após uma exposição de 3 minutos for igual ou superior a 50 % e a viabilidade após uma exposição de 1 hora for igual ou superior a 15 %.

3. RELATÓRIOS

3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deve incluir as seguintes informações:

Substância em estudo e de controlo:

- Denominação ou denominações químicas (como as denominações IUPAC ou CAS e o n.º CAS, se forem conhecidos);
- Grau de pureza e composição da substância ou preparação (em percentagem ponderal);
- Propriedades físico-químicas (estado físico, pH, estabilidade, hidrossolubilidade) relevantes para o estudo;
- Tratamento das substâncias em estudo/de controlo antes do ensaio, se for o caso (por exemplo, aquecimento, moagem);
- Estabilidade, se for conhecida.

Justificação do modelo cutâneo e do protocolo utilizados.

Condições de ensaio:

- Sistema celular utilizado;
- Informações sobre a calibração do equipamento de medição utilizado para medir a viabilidade celular (por exemplo, espectrofotómetro);
- Informações completas que substanciem o modelo cutâneo específico utilizado, incluindo sobre a validade do mesmo;

- Pormenores sobre o método de ensaio utilizado;
- Doses de ensaio utilizadas;
- Descrição de eventuais modificações do método de ensaio;
- Referência a dados anteriormente publicados sobre o modelo;
- Descrição dos critérios de avaliação utilizados.

Resultados:

- Quadro recapitulativo dos resultados correspondentes a cada amostra de ensaio;
- Descrição de outros efeitos eventualmente observados.

Discussão dos resultados.

Conclusão.

4. REFERÊNCIAS

- (1) OECD (2001) Harmonised Integrated Classification System for Human Health and Environmental Hazards of Chemical Substances and Mixtures. OECD Series on Testing and Assessment Number 33. ENV/JM/MONO(2001)6, Paris. [http://www.olis.oecd.org/olis/2001doc.nsf/LinkTo/env-jm-mono\(2001\)6](http://www.olis.oecd.org/olis/2001doc.nsf/LinkTo/env-jm-mono(2001)6).
- (2) Testing Method B.4. Acute Toxicity: Dermal Irritation/Corrosion.
- (3) Botham, P.A., Chamberlain, M., Barratt, M.D., Curren, R.D., Esdaile, D.J., Gardner, J.R., Gordon, V.C., Hildebrand, B., Lewis, R.W., Liebsch, M., Logemann, P., Osborne, R., Ponc, M., Regnier, J.F., Steiling, W., Walker, A.P., and Balls, M., (1995) A prevalidation study on *in vitro* skin corrosivity testing. The report recommendations of ECVAM Workshop 6 ATLA 23, p. 219-255.
- (4) Barratt, M.D., Brantom, P.G., Fentem, J.H., Gerner, I., Walker, A.P., and Worth, A.P., (1998) The ECVAM international validation study on *in vitro* tests for skin corrosivity. 1. Selection and distribution of the test chemicals. *Toxicology In Vitro* 12, p. 471-482.
- (5) Fentem, J.H., Archer, G.E.B., Balls, M., Botham, P.A., Curren, R.D., Earl, L.K., Esdaile, D.J., Holzhtutter, H.G. and Liebsch, M., (1998) The ECVAM international validation study on *in vitro* tests for skin corrosivity. 2. Results and evaluation by the Management Team. *Toxicology In Vitro* 12, p. 483-524.
- (6) OECD, (1996) Final Report of the OECD Workshop on Harmonisation of Validation and Acceptance Criteria for Alternative Toxicological Test Methods, p. 62.
- (7) Balls, M., Blaauboer, B.J., Fentem, J.H., Bruner, L., Combes, R.D., Ekwall, B., Fielder, R.J., Guillozo, A., Lewis, R.W., Lovell, D.P., Reinhardt, C.A., Repetto, G., Sladowski, D., Spielmann, H., and Zucco, F., (1995) Practical aspects of the validation of toxicity test procedures. Test report and recommendations of ECVAM workshops. ATLA 23, p. 129-147.
- (8) ICCVAM (Interagency Coordinating Committee on the Validation of Alternative Methods), (1997) Validation and Regulatory Acceptance of Toxicological Test Methods. NIH Publication No 97-3981. National Institute of Environmental Health Sciences, Research Triangle Park, NC, USA. <http://iccvam.niehs.nih.gov/docs/guidelines/validate.pdf>.
- (9) Liebsch, M., Traue, D., Barrabas, C., Spielmann, H., Uphill, P., Wilkins, S., McPherson, J.P., Wiemann, C., Kaufmann, T., Remmele, M. and Holzhtutter, H.G., (2000) The ECVAM prevalidation study on the use of EpiDerm for skin Corrosivity testing. ATLA 28, p. 371-401.

- (10) ECVAM, (1998) ECVAM News & Views. ATLA 26, p. 275-280.
- (11) ECVAM, (2000) ECVAM News & Views. ATLA 28, p. 365-67.
- (12) ICCVAM (Interagency Coordinating Committee on the Validation of Alternative Methods), (2002) ICCVAM evaluation of EpiDerm™, EPISKIN™ (EPI-200), and the Rat Skin Transcutaneous Electrical Resistance (TER) assay: In Vitro test methods for assessing dermal corrosivity potential of chemicals. NIH Publication No 02-4502. National Toxicology Program Interagency Center for the Evaluation of Alternative Toxicological Methods, National Institute of Environmental Health Sciences, Research Triangle Park, NC, USA. http://iccvam.niehs.nih.gov/methods/epidocs/epis_brd.pdf.
- (13) OECD, (2002) Extended Expert Consultation Meeting on The In Vitro Skin Corrosion Test Guideline Proposal, Berlin, 1st –2nd November 2001, Secretariat's Final Summary Report, 27th March 2002, OECD ENV/EHS, available upon request from the Secretariat.
- (14) Worth, A.P., Fentem, J.H., Balls, M., Botham, P.A., Curren, R.D., Earl, L.K., Esdaile, D.J., Liebsch, M., (1998) An Evaluation of the Proposed OECD Testing Strategy for Skin Corrosion. ATLA 26, p. 709-720.
- (15) Mosmann, T., (1983) Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: application to proliferation and cytotoxicity assays. J.Immunol. Meth. 65, p. 55-63.
- (16) Cannon, C.L., Neal, P.J., Southee, J.A., Kubilus, J., and Klausner, M., 1994. New epidermal model for dermal irritancy testing. Toxicology *In Vitro* 8, p. 889-891.
- (17) Ponc, M., Boelsma, E., Weerheim, A., Mulder, A., Boutwstra, J., and Mommaas, M., 2000. Lipid and ultrastructural characterisation of reconstructed skin models. International Journal of Pharmaceutics 203, p. 211-225.
- (18) Tinois, E., Gaetani, Q., Gayraud, B., Dupont, D., Rougier, A., Pouradier, D.X., (1994) The Episkin model: Successful reconstruction of human epidermis in vitro. In *In vitro Skin Toxicology*. Edited by A Rougier, AM Goldberg and HI Maibach, p. 133-140
- (19) Tinois, E., Tiollier, J., Gaucherand, M., Dumas, H., Tardy, M., Thivolet, J., (1991) *In vitro* and post – transplantation differentiation of human keratinocytes grown on the human type IV collagen film of a bilayered dermal substitute. Experimental Cell Research 193, p. 310-319
- (20) Parentau, N.L., Bilbo, P., Molte, C.J., Mason, V.S., and Rosenberg, H., (1992) The organotypic culture of human skin keratinocytes and fibroblasts to achieve form and function. Cytotechnology 9, p. 163-171.
- (21) Wilkins, L.M., Watson, S.R., Prosky, S.J., Meunier, S.F., Parentau, N.L., (1994) Development of a bilayered living skin construct for clinical applications. Biotechnology and Bioengineering 43/8, p. 747-756.
- (22) Marshall, N.J., Goodwin, C.J., Holt, S.J., (1995) A critical assessment of the use of microculture tetrazolium assays to measure cell growth and function. Growth Regulation 5, p. 69-84.
- (23) Fentem, J.H., Briggs, D., Chesne', C., Elliot, G.R., Harbell, J.W., Heylings, J.R., Portes, P., Rouget, R., and van de Sandt, J.J.M., and Botham, P.A., (2001) A prevalidation study on *in vitro* tests for acute skin irritation: results and evaluation by the Management Team. Toxicology *In Vitro* 15, p. 57-93.

B.41. ENSAIO DE FOTOTOXICIDADE *IN VITRO* 3T3 NRU

1. MÉTODO

Este método é equivalente ao OECD TG 432 (2004).

1.1. INTRODUÇÃO

A fototoxicidade é definida como uma reacção tóxica a uma substância aplicada ao corpo que é desencadeada ou intensificada (quando já se manifeste a doses inferiores) pela exposição subsequente à luz, ou induzida pela irradiação da pele depois da administração sistémica da substância.

O ensaio de fototoxicidade *in vitro* 3T3 NRU é utilizado para definir o potencial fototóxico de uma substância em estudo, induzido pela substância química excitada por exposição à luz. O ensaio avalia a fototoxicidade através da redução relativa da viabilidade de células expostas à substância química na presença de luz, comparativamente à obscuridade. As substâncias que respondam a este ensaio serão provavelmente fototóxicas *in vivo*, após aplicação sistémica e difusão pela pele ou após aplicação tópica.

Têm sido referidos os efeitos fototóxicos induzidos por muitos tipos de substâncias químicas (1) (2) (3) (4). A característica comum dessas substâncias é a capacidade de absorverem energia luminosa da radiação solar. De acordo com a primeira lei da fotoquímica (lei de Grotthaus-Draper), é necessária a absorção de uma quantidade suficiente de quanta de luz para que se observe uma fotorreacção. Antes de ser ponderada a realização de ensaios biológicos é, portanto, necessário determinar, pelo método OECD TG 101, o espectro de absorção no UV/visível da substância química em estudo. Tem sido referido que, se o coeficiente de absorção/extinção molar for inferior a $10 \text{ L.mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, a substância química não será provavelmente fotoreactiva. Uma substância química com tais características poderá não necessitar de ser submetida ao ensaio de fototoxicidade *in vitro* 3T3 NRU ou a qualquer outro ensaio biológico para a determinação de efeitos fotoquímicos adversos (1) (5). Ver igualmente o anexo 1.

A fiabilidade e pertinência do ensaio de fototoxicidade *in vitro* 3T3 NRU foram recentemente avaliadas (6) (7) (8) (9). O ensaio de fototoxicidade *in vitro* 3T3 NRU revelou-se capaz de prever efeitos fototóxicos agudos em animais e pessoas *in vivo*. O ensaio não se destina a prever outros efeitos adversos que possam resultar da acção combinada de uma substância química e da luz — não trata, por exemplo, da fotogenotoxicidade, da fotoalergia ou da fotocarcinogenicidade —, nem permite determinar o poder fototóxico. O ensaio também não cobre mecanismos indirectos de fototoxicidade, efeitos de metabolitos das substâncias em estudo ou efeitos de misturas.

Embora, de modo geral, seja necessário recorrer a sistemas de activação metabólica em todos os ensaios *in vitro* de previsão de potenciais genotóxicos ou carcinogénicos, no domínio da fototoxicologia são ainda raros os exemplos de substâncias químicas que necessitem de transformação metabólica para agirem como fototoxina *in vivo* ou *in vitro*. Não é, portanto, considerado necessário, nem cientificamente justificado, utilizar um sistema de activação metabólica no presente ensaio.

1.2. DEFINIÇÕES

Irradiância: Intensidade da radiação ultravioleta (UV) ou da luz visível que incide numa superfície, expressa em W/m^2 ou mW/cm^2 .

Dose de radiação: Quantidade (= intensidade x tempo) de radiação ultravioleta (UV) ou de luz visível que incide numa superfície, expressa em joules (= $\text{W} \times \text{s}$) por unidade de superfície (por exemplo, J/m^2 ou J/cm^2).

Bandas de comprimento de onda de radiação UV: As designações recomendadas pela CIE (*Commission Internationale de l'Éclairage*) são: UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm) e UVC (100-280 nm). Também se utilizam outras designações: a separação entre os UVB e os UVA é frequentemente situada a 320 nm, podendo as radiações UVA subdividir-se em UV-A1 e UV-A2, com a separação a cerca de 340 nm.

Viabilidade celular: Parâmetro que mede a actividade total de uma população celular (por exemplo, absorção do pigmento vital vermelho neutro pelos lisossomas celulares); consoante a variável determinada e o tipo de ensaio realizado, é possível correlacionar a viabilidade celular com o número total e/ou a vitalidade das células.

Viabilidade celular relativa: Viabilidade celular expressa em relação a amostras de controlo (negativas) constituídas pelo solvente e submetidas a todo o procedimento de ensaio (+ Irr ou - Irr), excluído o tratamento com a substância em estudo.

PIF (photo irritation factor — factor de fotoirritação): Factor obtido por comparação entre duas concentrações citotóxicas igualmente eficazes (CI50) da substância química em estudo, respectivamente sem (- Irr) e com (+ Irr) exposição a uma dose não citotóxica de radiação UVA/luz visível.

CI₅₀: Concentração da substância química em estudo que reduz a viabilidade celular em 50 %.

MPE (mean photo effect — fotoefeito médio): Parâmetro obtido por tratamento matemático das duas curvas de concentração obtidas sem (- Irr) e com (+ Irr) exposição a uma dose não citotóxica de radiação UVA/luz visível.

Fototoxicidade: Reacção tóxica aguda desencadeada pela primeira exposição da pele a determinadas substâncias químicas, seguida de exposição à luz, ou analogamente induzida por irradiação da pele depois da administração sistémica da substância.

1.3. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

O ensaio de fototoxicidade *in vitro* 3T3 NRU baseia-se na comparação da citotoxicidade de uma substância química com ou sem exposição a uma dose não citotóxica de luz solar simulada. No âmbito deste ensaio, a citotoxicidade é expressa pela redução, função da concentração, da absorção do pigmento vital vermelho neutro, medida 24 horas depois do tratamento com a substância química em estudo e da irradiação (10). O vermelho neutro (Neutral Red, NR) é um corante catiónico fraco que penetra facilmente nas membranas celulares por um mecanismo distinto da difusão, acumulando-se nos lisossomas intracelulares. As alterações da superfície da sensível membrana dos lisossomas fragilizam estes últimos e originam outras alterações, que se tornam gradualmente irreversíveis. Essas alterações resultantes da acção dos xenobióticos reduzem a absorção e ligação do vermelho neutro. Pode, portanto, estabelecer-se uma distinção entre células viáveis, danificadas ou mortas, base do presente ensaio.

Efectua-se uma cultura de células Balb/c 3T3 durante 24 h, para formação de monocamadas. Para cada substância química em estudo, procede-se à pré-incubação, durante 1 h, de duas placas de 96 alvéolos com oito concentrações diferentes da substância. A seguir, expõe-se uma das placas à mais elevada dose de irradiação não citotóxica e mantém-se a outra na obscuridade. Seguidamente, substitui-se o meio de tratamento por meio de cultura em ambas as placas; após nova incubação de 24 horas, determina-se a viabilidade celular através da absorção do vermelho neutro. A viabilidade celular é expressa em percentagem das amostras de solvente não tratadas de controlo e é calculada para cada concentração de ensaio. Para a previsão do potencial fototóxico, comparam-se as reacções, função da concentração, obtidas com e sem irradiação, em geral ao nível CI₅₀ (concentração que reduz a viabilidade celular a 50 %, relativamente às amostras de controlo não tratadas).

1.4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.4.1. Preparações

1.4.1.1. Células

No estudo de validação, foi utilizada uma linhagem celular permanente de fibroblastos de ratinho (Balb/c 3T3, clone 31) proveniente da ATCC (*American Type Culture Collection*, Manassas, VA, EUA) ou da ECACC (*European Collection of Cell Cultures*, Salisbury, Wiltshire, Reino Unido), a qual é, portanto, recomendada, devendo ser obtida de uma colecção de células adequadamente qualificada. Podem utilizar-se outras células ou linhagens celulares, aplicando o mesmo procedimento de ensaio, se as condições de cultura forem adaptadas às necessidades específicas das células em causa, embora deva, nesse caso, ser demonstrada a equivalência.

Deve comprovar-se regularmente que as células não estão contaminadas por micoplasmas, só devendo as mesmas ser utilizadas se esse tipo de microrganismo não for detectado (11).

É importante comprovar periodicamente a sensibilidade das células às radiações UV por aplicação do procedimento de controlo de qualidade descrito no presente método. Uma vez que a sensibilidade das células às radiações UVA pode aumentar com o número de repicagens, devem utilizar-se células Balb/c 3T3 que tenham sido objecto do menor número possível de repicagens (de preferência menos de 100). (Ver o ponto 1.4.2.2.2 e o anexo 2.)

1.4.1.2. Meios e condições de cultura

Nas repicagens celulares de rotina e na execução do ensaio, devem utilizar-se meios de cultura e condições de incubação adequados; por exemplo, no caso das células Balb/c 3T3, recomenda-se a utilização de DMEM (*Dulbecco's Modified Eagle's Medium*), enriquecido com soro de bovino recém-nascido (10 %), glutamina (4 mM), penicilina (100 UI) e estreptomicina (100 µg/ml), e a incubação em atmosfera húmida a 37°C, com 5 % a 7,5 % de CO₂, dependendo do tampão (ver o segundo parágrafo do ponto 1.4.1.4). É particularmente importante que as condições de cultura celular permitam manter o ciclo celular dentro dos valores normais publicados das células ou linhagem celular utilizadas.

1.4.1.3. Preparação das culturas

Inoculam-se num meio de cultura com a densidade adequada células provenientes de culturas-mãe congeladas, efectuando-se pelo menos uma subcultura antes de as utilizar no ensaio de fototoxicidade *in vitro* 3T3 NRU.

Para o ensaio de fototoxicidade, inoculam-se as células num meio de cultura com a densidade apropriada, de modo que as culturas não confluem durante o ensaio, ou seja, até à determinação da viabilidade celular, 48 h após a inoculação das células. No caso das células Balb/c 3T3 cultivadas em placas de 96 alvéolos, recomenda-se uma densidade de inoculação de 1×10^4 células por alvéolo.

Para cada substância química em estudo, inoculam-se as células de modo idêntico em duas placas de 96 alvéolos, mantendo-se depois as condições de cultura de ambas ao longo de todo o ensaio, excepto durante o período de irradiação de uma das placas (+ Irr), durante o qual a outra é mantida na obscuridade (- Irr).

1.4.1.4. Preparação da substância em estudo

As substâncias em estudo devem preparar-se de fresco, imediatamente antes da utilização, excepto se se mantiverem comprovadamente estáveis na armazenagem. Recomenda-se que a manipulação da substância química e o tratamento inicial das células decorram sob condições de luz que evitem a fotoactivação ou degradação da substância em estudo antes da irradiação.

Dissolvem-se as substâncias em estudo em tampões salinos, como o EBSS (*Earle's Balanced Salt Solution*) ou outra solução-tampão fisiologicamente equilibrada, isentos de componentes proteicos e de componentes que absorvam a luz (por exemplo, corantes indicadores de pH ou vitaminas), para evitar interferências durante a irradiação. Dado que, durante a irradiação, as células são mantidas cerca de 50 minutos fora do incubador sob atmosfera de CO₂, é necessário tomar precauções para evitar a alcalinização. Se forem utilizados tampões fracos, como o EBSS, poderão, para o efeito, incubar-se as células sob uma atmosfera com 7,5 % de CO₂. Se as células forem incubadas sob uma atmosfera com apenas 5 % de CO₂, será necessário utilizar um tampão mais forte.

As substâncias químicas em estudo fracamente solúveis em água devem ser dissolvidas num solvente adequado. Caso se utilize um solvente, a sua concentração volúmica deve ser constante em todas as culturas, tanto nas amostras de controlo negativas (solvente) como a todas as concentrações da substância química em estudo, e o solvente não deve ser citotóxico àquela concentração. As concentrações da substância química em estudo devem ser escolhidas de modo a evitar precipitados ou turvações.

Recomenda-se a utilização de dimetilsulfóxido (DMSO) e de etanol como solventes. Podem utilizar-se outros solventes de baixa citotoxicidade. Antes de serem utilizados, devem, porém, avaliar-se determinadas propriedades específicas, nomeadamente a reactividade com a substância química em estudo, a atenuação do efeito fototóxico, propriedades de eliminação de radicais e/ou a estabilidade química no solvente.

Se necessário, pode recorrer-se a um agitador mecânico e/ou a ultra-sons e/ou a aquecimento a temperaturas apropriadas para facilitar a dissolução, salvo se tal afectar a estabilidade da substância química em estudo.

1.4.1.5. Condições de irradiação

1.4.1.5.1. Fonte luminosa

A escolha de uma fonte luminosa e de filtros adequados é crucial nos ensaios de fototoxicidade. As regiões do visível e do UVA encontram-se normalmente associadas a reacções fototóxicas *in vivo* (3) (12), ao passo que os UVB são, em geral, menos importantes a esse nível, apresentando em contrapartida elevada citotoxicidade; esta aumenta de um factor de 1 000 ao passar de um comprimento de onda de 313 nm para 280 nm (13). Os critérios de selecção de uma fonte luminosa adequada devem incluir os requisitos da emissão de comprimentos de onda que a substância química em estudo absorva (espectro de absorção) e da obtenção, num período de exposição razoável, de doses de luz suficientes para a detecção das substâncias químicas fotocitotóxicas conhecidas. Além disso, os comprimentos de onda e as doses utilizadas não devem causar danos desnecessários ao sistema em estudo, nomeadamente devido à emissão de calor (região do infravermelho).

Considera-se que a melhor fonte luminosa artificial é constituída por simuladores de luz solar. A distribuição da potência de irradiação do simulador de luz solar com filtros deve ser próxima da correspondente à luz solar ao ar livre descrita em (14). Como simuladores de luz solar são utilizados arcos de xénon e arcos de mercúrio (dopado)-halogeneto metálico (15). Estes últimos apresentam a vantagem de emitirem menos calor e de serem mais económicos, mas não reproduzem a luz solar tão bem como os arcos de xénon. Dado que todos os simuladores de luz solar emitem quantidades significativas de radiação UVB, devem utilizar-se filtros adequados para atenuar os comprimentos de onda UVB, altamente citotóxicos. Dado que o material de plástico utilizado nas culturas celulares contém estabilizadores de UV, o espectro deve ser medido através do mesmo tipo de cobertura das placas de 96 alvéolos utilizado no ensaio. Independentemente das medidas tomadas para atenuar partes do espectro com filtros e dos efeitos de filtro inevitáveis do equipamento, o espectro registado após os filtros utilizados não deve desviar-se do espectro normalizado da luz solar ao ar livre (14). As referências (8) e (16) contêm um exemplo da distribuição espectral da irradiância do simulador de luz solar com filtros utilizado no estudo de validação do ensaio de fototoxicidade *in vitro* 3T3 NRU. Ver igualmente a figura 1 do anexo 2.

1.4.1.5.2. Dosimetria

Regularmente, antes de cada ensaio de fototoxicidade, deve comprovar-se a intensidade luminosa (irradiância) com um medidor de UV de banda larga adequado. A intensidade deve ser medida através do mesmo tipo de cobertura das placas de 96 alvéolos utilizado no ensaio. O medidor de UV deve ter sido previamente calibrado para a fonte luminosa. Deve comprovar-se o desempenho do medidor de UV, recomendando-se para tal a

utilização de um segundo medidor de UV de referência do mesmo tipo, calibrado do mesmo modo. O ideal seria utilizar, mais espaçadamente, um espectrorradiómetro para medir o espectro de irradiação da fonte luminosa filtrada e comprovar a calibração do medidor de UV de banda larga.

Verificou-se que uma dose de 5 J/cm² (medida na região UVA) não é citotóxica para as células Balb/c 3T3 e é suficientemente potente para excitar as substâncias químicas, desencadeando reacções fototóxicas (6)(17); por exemplo, para obter 5 J/cm² em 50 minutos, ajustou-se a irradiância a 1,7 mW/cm². Ver igualmente a figura 2 do anexo 2. Caso se utilize outra linhagem celular ou outra fonte luminosa, pode ser necessário regular a dose irradiante, seleccionando-a de modo a que seja suficiente para excitar as fototoxinas de referência sem danificar as células. A duração da exposição luminosa é calculada do seguinte modo:

$$t(\text{min}) = \frac{\text{dose de irradiação (J / cm}^2\text{)} \times 1000}{\text{irradiância (mW / cm}^2\text{)} \times 60} \quad (1 \text{ J} = 1 \text{ W.s})$$

1.4.2. Condições de ensaio

1.4.2.1. Concentrações da substância em estudo

As gamas de concentração da substância química em estudo com (+ Irr) e sem (- Irr) irradiação devem ser determinadas de forma adequada, em ensaios de determinação da gama de concentrações. Pode ser útil determinar a solubilidade de início e aos 60 minutos (ou após um período correspondente ao tempo de tratamento a utilizar), pois esse parâmetro pode variar ao longo do tempo ou durante a exposição. Para evitar efeitos tóxicos induzidos por condições de cultura inadequadas ou por substâncias químicas muito ácidas ou muito alcalinas, o pH das culturas celulares com a substância química em estudo deve situar-se entre 6,5 e 7,8.

A concentração mais elevada da substância química em estudo deve situar-se na gama de condições fisiológicas de ensaio; devem, nomeadamente, ser evitadas situações de tensão osmótica ou de pH. Consoante a substância química em estudo, pode ser necessário ter em conta outras propriedades físico-químicas como factor limitante da concentração de ensaio mais elevada. No caso das substâncias relativamente insolúveis que não sejam tóxicas a concentrações até ao ponto de saturação, deve ser ensaiada a concentração máxima possível. Em geral, deve ser evitada a precipitação da substância química em estudo a qualquer concentração de ensaio. A concentração máxima de uma substância em estudo não deve exceder 1 000 µg/ml; a osmolaridade não deve exceder 10 mmolar. Deve ser utilizada uma série geométrica de diluições constituída por oito concentrações da substância em estudo, com um factor de diluição constante (ver segundo parágrafo do ponto 2.1).

Se existirem dados (obtidos num ensaio de determinação da gama de concentrações) que revelem que a substância química em estudo não é citotóxica até à concentração-limite no ensaio sem irradiação (- Irr), mas é fortemente citotóxica quando irradiada (+ Irr), a gama de concentrações a seleccionar para o ensaio com irradiação (+ Irr) pode diferir da gama de concentrações seleccionada para o ensaio sem irradiação, para satisfazer os requisitos de adequabilidade da qualidade dos dados.

1.4.2.2. Amostras de controlo

1.4.2.2.1. Sensibilidade celular à radiação, estabelecimento de dados de referência

A sensibilidade das células à fonte luminosa deve ser verificada regularmente (aproximadamente todas as cinco repicagens) determinando a viabilidade celular após exposição a doses crescentes de irradiação. Nessa determinação, devem ser utilizadas várias doses de irradiação, incluindo níveis substancialmente superiores aos utilizados no ensaio de fototoxicidade 3T3 NRU. Essas doses são mais facilmente quantificadas através de medições na região do ultravioleta da fonte luminosa. A densidade de inoculação das células deve ser idêntica à que será irradiada no dia seguinte no ensaio de fototoxicidade *in vitro* 3T3 NRU. A viabilidade celular é determinada no dia imediato com base na absorção do vermelho neutro. Deve ser demonstrado que a dose não citotóxica mais elevada resultante [5 J/cm² (UVA) no estudo de validação, por exemplo] se revelou suficiente para classificar correctamente as substâncias químicas de referência (quadro 1).

1.4.2.2.2. Sensibilidade à radiação no ensaio em curso

O ensaio satisfaz os critérios de qualidade se as amostras de controlo negativas (solvente) irradiadas revelarem uma taxa de viabilidade superior a 80 %, comparativamente à amostra de controlo negativa (solvente) não irradiada.

1.4.2.2.3. Viabilidade associada às amostras de controlo constituídas pelo solvente

A densidade óptica absoluta (DO_{540 NRU}) do vermelho neutro extraído das amostras de controlo constituídas pelo solvente indica se as 1x10⁴ células inoculadas em cada alvéolo se reproduziram com um tempo de duplicação normal durante os dois dias do ensaio. Um ensaio satisfaz os critérios de aceitação se a DO_{540 NRU} média das amostras de controlo não tratadas for > 0,4 (ou seja, cerca de vinte vezes a absorvância de fundo do solvente).

1.4.2.2.4. Amostras de controlo positivas

Paralelamente a cada ensaio de fototoxicidade *in vitro* 3T3 NRU deve efectuar-se um ensaio com uma substância química fototóxica conhecida. Recomenda-se a clorpromazina (CPZ). Foram definidos os seguintes critérios de aceitação do ensaio para a utilização de clorpromazina de acordo com o protocolo normalizado do ensaio de fototoxicidade *in vitro* 3T3 NRU: CPZ irradiada (+ Irr), $CI_{50} = 0,1$ a $2,0 \mu\text{g/ml}$; CPZ não irradiada (- Irr), $CI_{50} = 7,0$ a $90,0 \mu\text{g/ml}$. O factor de fotoirritação (PIF) deve ser superior a 6. Os resultados obtidos para as amostras de controlo positivas devem ser acompanhados ao longo do tempo.

Em vez da clorpromazina podem utilizar-se nas amostras de controlo positivas submetidas em paralelo ao ensaio outras substâncias químicas fototóxicas adequadas à categoria química ou às características de solubilidade da substância química em estudo.

1.4.3. Procedimento de ensaio (6) (7) (8) (16) (17)

1.4.3.1. Primeiro dia

Introduzir 100 μl de meio de cultura nos alvéolos periféricos de uma placa de microtitulação com 96 alvéolos para a cultura de tecidos (brancos). Nos restantes alvéolos, introduzir 100 μl de uma suspensão celular de 1×10^5 células/ml em meio de cultura (1×10^4 células por alvéolo). Devem ser preparadas duas placas para cada série de concentrações da substância em estudo e as amostras de controlo constituídas pelo solvente e positivas.

Incubar as células durante 24 h (ver o ponto 1.4.1.2), até à formação de uma monocamada semiconfluente. Este período de incubação permite a recuperação, a aderência e o crescimento exponencial das células.

1.4.3.2. Segundo dia

Após a incubação, decantar o meio de cultura das células e lavar cuidadosamente com 150 μl da solução tamponada utilizada na incubação. Adicionar 100 μl de tampão, com a concentração adequada da substância química em estudo ou do solvente (amostra de controlo constituída pelo solvente). Constituir oito concentrações diferentes da substância química em estudo. Incubar as células com a substância química em estudo, na obscuridade, durante 60 minutos (ver o ponto 1.4.1.2 e o segundo parágrafo do ponto 1.4.1.4).

Das duas placas preparadas para cada série de concentrações da substância química em estudo e amostras de controlo, uma é seleccionada, em geral de forma aleatória, para a determinação da citotoxicidade (- Irr), constituindo a placa de controlo, e a outra (a placa de tratamento) para a determinação da fototoxicidade (+ Irr).

No ensaio + Irr irradiam-se as células durante 50 minutos, à temperatura ambiente, através da cobertura da placa de 96 alvéolos, com a dose mais elevada de radiação não citotóxica (ver também o anexo 2). Manter as placas não irradiadas (- Irr) na obscuridade, à temperatura ambiente, durante 50 minutos (período idêntico ao da exposição luminosa).

Decantar a solução de ensaio e lavar cuidadosamente duas vezes com 150 μl da solução tamponada utilizada na incubação, mas sem a matéria em estudo. Substituir o tampão por meio de cultura e incubar (ver o ponto 1.4.1.2) de um dia para o outro (18 h a 22 h).

1.4.3.3. Terceiro dia

1.4.3.3.1. Exame microscópico

Utilizando um microscópio de contraste de fase examinam-se o crescimento e a morfologia das células e a integridade da monocamada celular. Registar as alterações morfológicas das células e os efeitos ao nível do crescimento celular.

1.4.3.3.2. Ensaio de absorção do vermelho neutro

Lavar as células com 150 μl de tampão pré-aquecido. Remover a solução de lavagem batendo levemente. Adicionar 100 μl de vermelho neutro (NR, cloridrato de 3-amino-7-dimetilamino-2-metilfenazina, número EINECS 209-035-8, número CAS 553-24-2; C.I. 50040) com a concentração de 50 $\mu\text{g/ml}$ em meio sem soro (16) e incubar conforme descrito no ponto 1.4.1.2 durante 3 horas. Depois da incubação, remover o meio com vermelho neutro e lavar as células com 150 μl de tampão. Decantar e remover o excesso de tampão por uma técnica de *blotting* ou por centrifugação.

Adicionar exactamente 150 μl de solução de desorção do vermelho neutro (solução preparada de fresco constituída por 49 partes de água, 50 partes de etanol e uma parte de ácido acético).

Agitar cuidadosamente a placa de microtitulação num agitador próprio para esse tipo de placas, durante 10 minutos, até ao vermelho neutro ser extraído das células e formar uma solução homogénea.

Medir a densidade óptica do extracto de vermelho neutro a 540 nm num espectrofotómetro, utilizando os brancos como referência. Armazenar os resultados num ficheiro electrónico de formato adequado, para tratamento posterior.

2. RESULTADOS

2.1. QUALIDADE E QUANTIDADE DOS RESULTADOS

Os resultados do ensaio devem permitir uma análise significativa da resposta obtida às variações de concentração com e sem irradiação, bem como, se possível, da concentração da substância química em estudo que reduz a viabilidade celular a 50 % (CI₅₀). Caso se observe citotoxicidade, a gama de concentrações e o intervalo entre as concentrações devem ser fixados de modo a possibilitar a adaptação de uma curva aos dados experimentais.

No caso de resultados claramente positivos ou claramente negativos (ver o primeiro parágrafo do ponto 2.3), pode bastar o ensaio primário, apoiado num ou mais ensaios preliminares de determinação da gama de concentrações.

Os resultados duvidosos, no limite ou pouco claros devem ser esclarecidos por novos ensaios (ver também o segundo parágrafo do ponto 2.4). Nesses casos, deve ser ponderada a modificação das condições experimentais. Entre as condições experimentais susceptíveis de ser modificadas contam-se a gama de concentrações ou o intervalo entre concentrações, o tempo de pré-incubação e o tempo de exposição à irradiação. No caso das substâncias químicas instáveis na água, pode ser adequado um tempo de exposição mais curto.

2.2. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Para possibilitar a avaliação dos resultados, pode ser calculado um factor de fotoirritação (PIF) ou um fotoefeito médio (MPE).

Para que os cálculos baseados nas medições de fototoxicidade possam ser efectuados (ver abaixo), o conjunto das respostas individuais obtidas em função da concentração deve ser traduzido por uma curva (modelo) contínua de concentrações apropriada. O ajustamento da curva aos resultados é normalmente efectuado por um método de regressão não linear (18). Para avaliar a influência da variabilidade dos resultados na curva ajustada recomenda-se uma técnica de *bootstrap*.

O cálculo do factor de fotoirritação (PIF) é efectuado do seguinte modo:

$$\text{PIF} = \frac{\text{CI}_{50}(-\text{Irr})}{\text{CI}_{50}(+\text{Irr})}$$

Se não for possível calcular a CI₅₀ com irradiação ou a CI₅₀ sem irradiação, não se poderá determinar o factor de fotoirritação (PIF) para a matéria em estudo. O fotoefeito médio (MPE) baseia-se na comparação das curvas de concentração completas (19). É definido como a média ponderada de um conjunto representativo de valores de fotoefeito:

$$\text{MPE} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \text{PE}_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

O fotoefeito PE_C à concentração C é definido como o produto do efeito de resposta RE_C pelo efeito de dose DE_C, ou seja: PE_C = RE_C × DE_C. O efeito de resposta RE_C é a diferença entre as respostas observadas com e sem irradiação, isto é: RE_C = R_C (- Irr) — R_C (+ Irr). O efeito de dose é calculado do seguinte modo:

$$\text{DE}_C = \frac{\left| \frac{C}{C^*} - 1 \right|}{\left| \frac{C}{C^*} + 1 \right|}$$

em que C* representa a concentração de equivalência, ou seja, a concentração à qual a resposta + Irr é igual à resposta - Irr à concentração C. Se não for possível determinar C* por os valores de resposta da curva + Irr serem sistematicamente superiores ou inferiores à curva de resposta - Irr, o efeito de dose será fixado no valor «1». Os factores de ponderação w_i são dados pelo valor de resposta mais elevado, ou seja: w_i = MAX {R_i (+ Irr), R_i (- Irr)}. Os valores C_i de concentração são escolhidos de modo que cada intervalo de concentração definido pelos valores de concentração utilizados no ensaio contenha o mesmo número de pontos. O cálculo do MPE está limitado ao valor máximo de concentração ao qual pelo menos uma das duas curvas exiba ainda um valor de resposta mínimo de 10 %. Se essa concentração máxima exceder a concentração máxima utilizada no ensaio + Irr, a parte residual da curva + Irr será convertida no valor de resposta «0». Consoante o valor de MPE for maior ou menor do que um valor-limite de diferenciação convenientemente escolhido (MPE_C = 0,15), assim a substância química será ou não classificada de fototóxica.

Em (20) está disponível um programa para o cálculo do PIF e do MPE.

2.3. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Com base nas previsões do estudo de validação (8), se o PIF for inferior a 2 ou o MPE menor do que 0,1 a substância em estudo será não fototóxica. Se o PIF for superior a 2 e inferior a 5 ou o MPE maior do que 0,1 e menor do que 0,15, a substância em estudo será provavelmente fototóxica. Se o PIF for superior a 5 ou o MPE maior do que 0,15, a substância será fototóxica.

Os laboratórios que comecem a utilizar o presente método de ensaio devem ensaiar as matérias de referência constantes do quadro 1 antes de submeterem outras substâncias a determinações de fototoxicidade. Os valores de PIF e MPE devem ser próximos dos indicados no quadro 1.

Quadro 1

Denominação química	Número EINECS	Número CAS	PIF	MPE	Pico de absorção	Solvente ⁽¹⁾
Amiodarona HCl	243-293-2	[19774-82-4]	> 3,25	0,27- 0,54	242 nm 300 nm (ombro)	Etanol
Clorpromazina HCl	200-701-3	[69-09-0]	> 14,4	0,33- 0,63	309 nm	Etanol
Norfloxacina	274-614-4	[70458-96-7]	> 71,6	0,34- 0,90	316 nm	Acetonitrilo
Antraceno	204-371-1	[120-12-7]	> 18,5	0,19- 0,81	356 nm	Acetonitrilo
Protoporfirina IX, dissódio	256-815-9	[50865-01-5]	> 45,3	0,54- 0,74	402 nm	Etanol
L-Histidina		[7006-35-1]	Não determinável	0,05- 0,10	211nm	Água
Hexaclorofeno	200-733-8	[70-30-4]	1,1- 1,7	0,00- 0,05	299 nm 317nm (ombro)	Etanol
Laurilsulfato de sódio	205-788-1	[151-21-3]	1,0- 1,9	0,00- 0,05	Não se verifica absorção	Água

⁽¹⁾ Solvente utilizado nas medições de absorção.

2.4. INTERPRETAÇÃO DE DADOS

Se os efeitos fototóxicos só forem observados para a concentração de ensaio mais elevada (sobretudo no caso das substâncias químicas hidrossolúveis), poderá ser necessário ponderar outros factores na avaliação dos perigos da substância. Pode ser o caso de dados de absorção ou acumulação cutâneas da substância química e/ou de outros ensaios, por exemplo do ensaio *in vitro* da substância química em pele humana ou de animal ou em modelos cutâneos.

Se não for demonstrada a existência de toxicidade (+ Irr e - Irr) e se uma baixa solubilidade limitar as concentrações susceptíveis de serem ensaiadas, poderá ser posta em causa a compatibilidade da substância em estudo com o ensaio e deverá ser ponderada a realização de ensaios de confirmação, por exemplo com base noutro modelo.

3. RELATÓRIOS

RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deve incluir, pelo menos, as seguintes informações:

Substância em estudo:

- Dados identificativos, denominações genéricas comuns e números IUPAC e CAS, se forem conhecidos;
- Natureza física e grau de pureza;
- Propriedades físico-químicas relevantes para o estudo;
- Espectro de absorção no visível/UV;
- Estabilidade e fotoestabilidade, se forem conhecidas.

Solvente:

- Justificação da escolha do solvente;
- Solubilidade da substância em estudo no solvente;
- Percentagem de solvente no meio de tratamento.

Células:

- Tipo e origem das células;
- Ausência de micoplasmas;
- Número de repicagens celulares, se for conhecido;
- Sensibilidade celular à radiação, determinada com o equipamento de irradiação utilizado no ensaio de fototoxicidade *in vitro* 3T3 NRU.

Condições de ensaio — 1) *Incubação antes e depois do tratamento*:

- Tipo e composição do meio de cultura;
- Condições de incubação (concentração de CO₂, temperatura e humidade);
- Duração da incubação (antes e depois do tratamento).

Condições de ensaio — 2) *Tratamento com a substância química*:

- Fundamentação da escolha das concentrações da substância química em estudo utilizadas nos ensaios com e sem irradiação;
- Caso a substância química em estudo seja fracamente solúvel e não citotóxica, fundamentação da escolha da maior concentração ensaiada;
- Tipo e composição do meio de tratamento (tampão salino);

- Duração do tratamento químico.

Condições de ensaio — 3) *Irradiação*:

- Fundamentação da escolha da fonte luminosa utilizada;
- Fabricante e tipo da fonte luminosa e do radiómetro;
- Características de irradiância espectral da fonte luminosa;
- Características de transmissão e absorção do filtro ou filtros utilizados;
- Características do radiómetro e condições de calibração do mesmo;
- Distância entre a fonte luminosa e o sistema de ensaio;
- Irradiância UVA a essa distância, expressa em mW/cm^2 ;
- Duração da exposição à radiação UV/luz visível;
- Dose de radiação UVA (irradiância x tempo), expressa em J/cm^2 ;
- Temperatura das culturas celulares durante a irradiação e das culturas celulares mantidas paralelamente na obscuridade.

Condições de ensaio — 4) *Ensaio de viabilidade com o vermelho neutro*:

- Composição do meio de tratamento com vermelho neutro;
- Duração da incubação com vermelho neutro;
- Condições de incubação (concentração de CO_2 , temperatura e humidade);
- Condições de extracção do vermelho neutro (agente de extracção, duração);
- Comprimento de onda utilizado na leitura espectrofotométrica da densidade óptica do vermelho neutro;
- Segundo comprimento de onda (referência), se for utilizado;
- Composição do branco eventualmente utilizado no espectrofotómetro.

Resultados:

- Viabilidade celular obtida para cada concentração da substância química em estudo, expressa em percentagem da viabilidade média das amostras de controlo paralelas;
- Curvas de concentração (viabilidade celular relativa em função da concentração da substância química em estudo) obtidas nos ensaios + Irr e - Irr paralelos;
- Análise das curvas de concentração: se possível, cálculo automático/cálculo manual de CI_{50} (+ Irr) e de CI_{50} (- Irr);
- Comparação das duas curvas de concentração obtidas com e sem irradiação, por cálculo do factor de fotoirritação (PIF) ou do fotoefeito médio (MPE);

- Critérios de aceitação do ensaio — amostra de controlo constituída pelo solvente paralela;
- Viabilidade absoluta (densidade óptica do extracto de vermelho neutro) das células irradiadas e não irradiadas;
- Dados de referência das amostras de controlo negativas (solvente); médias e desvios-padrão;
- Critérios de aceitação do ensaio — amostra de controlo positiva paralela;
- $CI_{50}(+ Irr)$ e $CI_{50}(- Irr)$ e PIF/MPE da substância química da amostra de controlo positiva;
- Dados de referência da substância química da amostra de controlo positiva: $CI_{50}(+ Irr)$ e $CI_{50}(- Irr)$ e PIF/MPE; médias e desvios-padrão.

Discussão dos resultados.

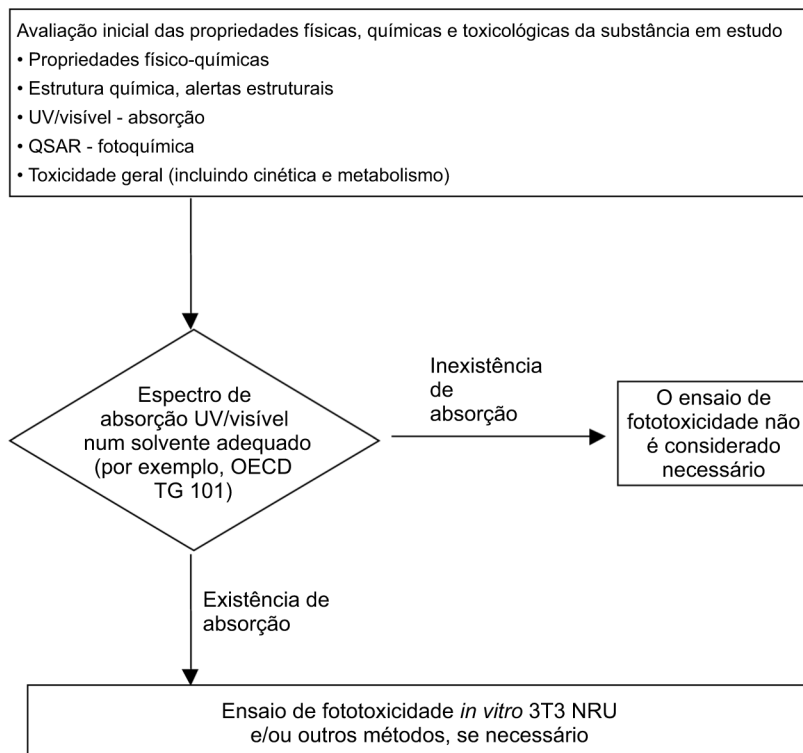
Conclusões.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Lovell W.W., (1993) A scheme for *in vitro* screening of substances for photoallergenic potential. *Toxicology In Vitro* 7, p. 95-102.
- (2) Santamaria, L. and Prino, G., (1972) List of the photodynamic substances. In «Research Progress in Organic, Biological and Medicinal Chemistry» Vol. 3 part 1. North Holland Publishing Co. Amsterdam. p. XI-V.
- (3) Spielmann, H., Lovell, W.W., Hölzle, E., Johnson, B.E., Maurer, T., Miranda, M.A., Pape, W.J.W., Sapora, O., and Sladowski, D., (1994) *In vitro* phototoxicity testing: The report and recommendations of ECVAM Workshop 2. ATLA, 22, p. 314-348.
- (4) Spikes, J.D., (1989) Photosensitisation. In «The science of Photobiology» Edited by K.C. Smith. Plenum Press, New York. 2nd edition, p. 79-110.
- (5) OECD (1997) Environmental Health and Safety Publications, Series on Testing and Assessment No 7 «Guidance Document On Direct Phototransformation Of Chemicals In Water» Environment Directorate, OECD, Paris.
- (6) Spielmann, H., Balls, M., Döring, B., Holzhütter, H.G., Kalweit, S., Klecak, G., L'Eplattenier, H., Liebsch, M., Lovell, W.W., Maurer, T., Moldenhauer, F. Moore, L., Pape, W., Pfannenbecker, U., Potthast, J., De Silva, O., Steiling, W., and Willshaw, A., (1994) EEC/COLIPA project on *in vitro* phototoxicity testing: First results obtained with a Balb/c 3T3 cell phototoxicity assay. *Toxicology In Vitro* 8, p. 793-796.
- (7) Anon (1998) Statement on the scientific validity of the 3T3 NRU PT test (an *in vitro* test for phototoxicity), European Commission, Joint Research Centre: ECVAM and DGXI/E/2, 3 November 1997, ATLA, 26, p. 7-8.
- (8) Spielmann, H., Balls, M., Dupuis, J., Pape, W.J.W., Pechovitch, G., De Silva, O., Holzhütter, H.G., Clothier, R., Desolle, P., Gerberick, F., Liebsch, M., Lovell, W.W., Maurer, T., Pfannenbecker, U., Potthast, J. M., Csato, M., Sladowski, D., Steiling, W., and Brantom, P., (1998) The international EU/COLIPA *In vitro* phototoxicity validation study: results of phase II (blind trial), part 1: the 3T3 NRU phototoxicity test. *Toxicology In Vitro* 12, p. 305-327.
- (9) OECD (2002) Extended Expert Consultation Meeting on The *In Vitro* 3T3 NRU Phototoxicity Test Guideline Proposal, Berlin, 30th-31th October 2001, Secretariat's Final Summary Report, 15th March 2002, OECD ENV/EHS, available upon request from the Secretariat.
- (10) Borenfreund, E., and Puerner, J.A., (1985) Toxicity determination *in vitro* by morphological alterations and neutral red absorption. *Toxicology Lett.* 24, p. 119-124.

-
- (11) Hay, R.J., (1988) The seed stock concept and quality control for cell lines. *Analytical Biochemistry* 171, p. 225-237.
- (12) Lambert L.A, Warner W.G., and Kornhauser A., (1996) Animal models for phototoxicity testing. In «*Dermatotoxicology*», edited by F.N. Marzulli and H.I. Maibach. Taylor & Francis, Washington DC. 5th Edition, p. 515-530.
- (13) Tyrrell R.M., Pidoux M (1987) Action spectra for human skin cells: estimates of the relative cytotoxicity of the middle ultraviolet, near ultraviolet and violet regions of sunlight on epidermal keratinocytes. *Cancer Res.*, 47, p. 1825-1829.
- (14) ISO 10977., (1993) Photography — Processed photographic colour films and paper prints — Methods for measuring image stability.
- (15) Sunscreen Testing (UV.B) TECHNICALREPORT, CIE, International Commission on Illumination, Publication No 90, Vienna, 1993, ISBN 3 900 734 275
- (16) ZEBET/ECVAM/COLIPA — Standard Operating Procedure: *In Vitro* 3T3 NRU Phototoxicity Test. Final Version, 7 September, 1998 (18 páginas).
- (17) Spielmann, H., Balls, M., Dupuis, J., Pape, W.J.W., De Silva, O., Holzhütter, H.G., Gerberick, F., Liebsch, M., Lovell, W.W., and Pfannenbecker, U., (1998) A study on UV filter chemicals from Annex VII of the European Union *Directive 76/768/EEC*, in the *in vitro* 3T3 NRU phototoxicity test. *ATLA* 26, p. 679-708.
- (18) Holzhütter, H.G., and Quedenau, J., (1995) Mathematical modeling of cellular responses to external signals. *J. Biol. Systems* 3, p. 127-138.
- (19) Holzhütter, H.G., (1997) A general measure of *in vitro* phototoxicity derived from pairs of dose-response curves and its use for predicting the *in vivo* phototoxicity of chemicals. *ATLA*, 25, p. 445-462.
- (20) http://www.oecd.org/document/55/0,2340,en_2649_34377_2349687_1_1_1_1,00.html

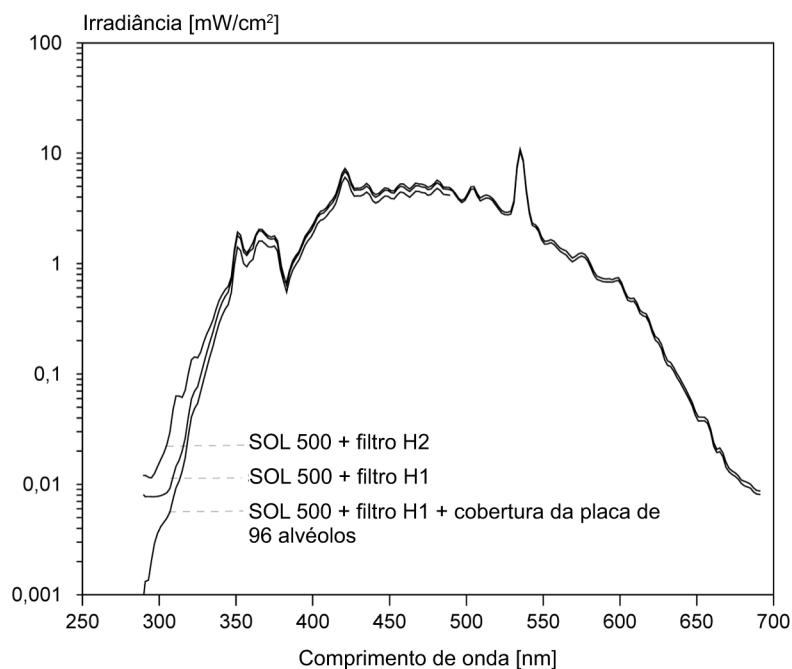
ANEXO 1

Papel do ensaio de fitotoxicidade 3T3 NRU numa abordagem sequencial da determinação da fitotoxicidade de substâncias químicas

ANEXO 2

Figura 1

Distribuição espectral da potência de um simulador de luz solar com filtros



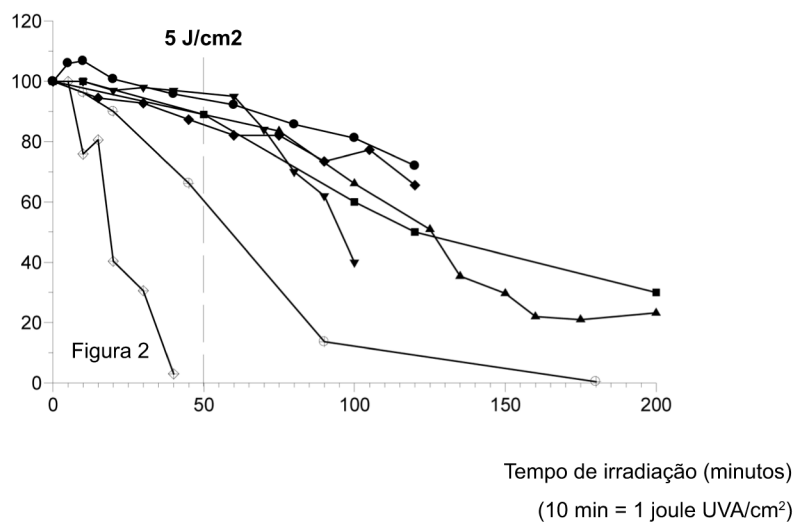
(Ver segundo parágrafo do ponto 1.4.1.5.)

A figura 1 apresenta um exemplo de uma distribuição espectral de irradiância aceitável de um simulador de luz solar com filtros, proveniente da fonte de halogeneto metálico dopada utilizada no estudo de validação do ensaio de fototoxicidade 3T3 NRU (6)(8)(17). Mostra-se o efeito de dois filtros diferentes e o efeito filtrante suplementar da cobertura da placa de cultura celular com 96 alvéolos. O filtro H2 só foi utilizado com sistemas de ensaio que toleram doses mais elevadas de UVB (ensaio em modelo cutâneo e ensaio da foto-hemólise de glóbulos vermelhos). No ensaio de fototoxicidade 3T3 NRU foi utilizado o filtro H1. A figura mostra que o efeito filtrante adicional da cobertura da placa é sobretudo observado nos UVB e que o espectro de irradiação continua a ter radiação UVB suficiente para excitar as substâncias químicas que absorvem sobretudo nessa região espectral, como a Amiodarona (ver quadro 1).

Figura 2

Sensibilidade das células Balb/c 3T3 à irradiação (medida nos UVA)

Viabilidade celular (percentagem de absorção do vermelho neutro em relação às amostras de controlo mantidas na obscuridade)



(Ver segundo parágrafo do ponto 1.4.1.5.2 e os pontos 1.4.2.2.1 e 1.4.2.2.2.)

Sensibilidade das células Balb/c 3T3 à irradiação com o simulador de luz solar utilizado no estudo de validação do ensaio de fototoxicidade 3T3 NRU, medida nos UVA. A figura mostra os resultados obtidos no estudo de pré-validação em sete laboratórios distintos (1). As cinco curvas com símbolos a cheio dizem respeito a células com tolerância aceitável à irradiação; as outras duas curvas foram obtidas com células envelhecidas (resultantes de numerosas repicagens), que foi necessário substituir por novas células-mãe.

Com base nestes dados, foi determinada para dose mais elevada de irradiação não citotóxica (linha vertical a tracejado) o valor 5 J/cm. A linha horizontal a tracejado corresponde ao efeito máximo aceitável da irradiação a que se refere o ponto 1.4.2.2.

B.42. SENSIBILIZAÇÃO DA PELE: ENSAIO DE GÂNGLIO LINFÁTICO LOCAL**1. MÉTODO**

O presente método baseia-se na publicação OECD TG 429 (2002) (normas de ensaio da OCDE).

1.1. INTRODUÇÃO

O Ensaio de Gânglio Linfático Local (LLNA) tem sido suficientemente validado e aceite de modo a justificar a sua adopção como um novo método (1)(2)(3). Este ensaio é o segundo método para avaliar o potencial de sensibilização da pele de animais por produtos químicos. O outro método (B.6) utiliza ensaios com cobaia, nomeadamente o ensaio de maximização da cobaia e o ensaio de Buehler (4).

O LLNA constitui um método alternativo a utilizar na identificação de produtos químicos sensibilizantes da pele e na confirmação da ausência de um potencial significativo causador de sensibilização da pele por parte de certos produtos químicos. Tal facto não implica necessariamente que o LLNA seja sempre utilizado em substituição do ensaio com cobaia, mas apenas que o primeiro apresenta qualidades equivalentes ao segundo e pode ser utilizado como uma alternativa em situações nas quais não seja necessária confirmação posterior dos resultados, quer estes sejam positivos ou negativos.

O LLNA apresenta determinadas vantagens no que diz respeito tanto ao progresso científico como à protecção dos animais. O método estuda a fase de indução da sensibilização da pele e proporciona dados quantitativos adequados para a avaliação da resposta à dosagem. Foram publicados dados detalhados sobre a validação do LLNA e uma revisão do trabalho associado (5) (6) (7) (8). Além disso, deve referir-se que os sensibilizadores intermédios/moderados, que se recomendam como substâncias adequadas para controlo positivo dos métodos de cobaia, são igualmente apropriados para utilizar com o LLNA (6) (8) (9).

O LLNA é um método *in vivo* e, consequentemente, não eliminará a utilização de animais na avaliação da actividade sensibilizante por contacto. Tem, no entanto, a vantagem de reduzir o número de animais requeridos para esta avaliação. Além disso, o LLNA apresenta uma melhoria substancial no modo como os animais são utilizados nos ensaios de sensibilização por contacto. O LLNA baseia-se na observação de acontecimentos imunológicos estimulados por produtos químicos durante a fase de indução da sensibilização. Ao contrário dos ensaios com cobaia, o LLNA não requer a ocorrência de reacções de hipersensibilidade dérmica provocadas por um agente externo. Além disso, o LLNA não implica que seja utilizado qualquer adjuvante, como acontece no ensaio de maximização da cobaia, reduzindo as perturbações causadas ao animal. Apesar das vantagens do LLNA em relação aos ensaios tradicionais com cobaia, importa reconhecer que existem certas limitações neste método que podem exigir a utilização de ensaios tradicionais com cobaia (por exemplo, falsos negativos no LLNA para certos metais, falsos positivos para certos irritantes da pele) (10).

Ver igualmente a Introdução Geral, parte B.

1.2. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

O princípio básico subjacente ao LLNA é o de que os sensibilizadores induzem uma proliferação primária de linfócitos no gânglio linfático que leva à secagem do local de aplicação do produto químico. Esta proliferação é proporcional à dose aplicada (e à potência do alergeno) e constitui um modo simples de obter uma medida quantitativa objectiva da sensibilização. O LLNA avalia esta proliferação numa relação de dose/resposta na qual a proliferação em grupos de ensaio é comparada com a obtida em controlos tratados com o excipiente. É determinada a razão entre a proliferação nos grupos ensaiados e a observada em controlos tratados com o excipiente. Esta razão denomina-se Índice de Estimulação e deve apresentar o valor de, pelo menos, três para que uma substância de ensaio possa ser posteriormente avaliada como potencial sensibilizadora da pele. Os métodos descritos no presente documento baseiam-se na utilização de marcação radioactiva para medir a proliferação celular. Podem, no entanto, ser utilizados outros conceitos para a avaliação da proliferação desde que existam justificação e apoio científico adequado, incluindo citações integrais e uma descrição da metodologia.

1.3. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO**1.3.1. Preparativos****1.3.1.1. Condições de alojamento e alimentação**

Os animais devem ser alojados individualmente. A temperatura do biotério deve ser de 22 °C ($\pm$ 3 °C). Embora a humidade relativa deva ser de, pelo menos, 30 % e, de preferência, não exceder os 70 % excepto durante o período de limpezas, o valor pretendido deve ser de 50 %-60 %. A iluminação deve ser artificial, com uma sequência de 12 horas de luz seguidas de 12 horas de escuridão. Na alimentação podem ser utilizadas dietas convencionais de laboratório e deve ser fornecida água de beber sem restrições.

1.3.1.2. *Preparação dos animais*

Os animais são seleccionados aleatoriamente, marcados de modo a permitir a identificação individual (embora nunca se deva recorrer a marcação nas orelhas) e mantidos em gaiolas durante, pelo menos, cinco dias antes do início da aplicação da dose, de modo a permitir a aclimação às condições do laboratório. Antes do início do tratamento todos os animais são examinados de modo a assegurar que não apresentam lesões visíveis da pele.

1.3.2. **Condições do ensaio**

1.3.2.1. *Animais experimentais*

O rato é a espécie de eleição para o presente ensaio. Utilizam-se fêmeas adultas das estirpes CBA/Ca ou CBA/J, nulíparas e não grávidas. No início do estudo os animais devem ter entre 8 e 12 semanas de idade e a variação de peso dos animais deve ser mínima e não deve exceder 20 % do seu peso médio. Podem ser utilizadas outras estirpes e machos quando houver uma quantidade suficiente de dados que demonstrem não existirem diferenças significativas na resposta ao LLNA relacionadas com a estirpe e/ou o género do animal.

1.3.2.2. *Verificação da fiabilidade*

Utilizam-se controlos positivos a fim de demonstrar o desempenho adequado do ensaio e a competência do laboratório para levar a cabo o ensaio com sucesso. O controlo positivo deve produzir uma resposta LLNA positiva ao nível de exposição à qual se espera um aumento do índice de estimulação (SI) > 3 em relação ao grupo do controlo negativo. A dose do controlo positivo deve ser escolhida de modo a que a indução seja evidente mas não excessiva. As substâncias preferidas são o aldeído hexilcinâmico (número CAS 101-86-0, número EINECS 202-983-3) e o mercaptobenzotiazole (número CAS 149-30-4, número EINECS 205-736-8). Em certas circunstâncias e perante justificação adequada podem ser utilizadas outras substâncias de controlo que cumpram os critérios supramencionados. Embora seja geralmente requerido um grupo de controlo positivo para cada ensaio, podem ocorrer situações nas quais os ensaios laboratoriais apresentem um historial de dados de controlos positivos que documentem a consistência de uma resposta satisfatória por um período igual ou superior a seis meses. Nessas situações, pode ser apropriado efectuar ensaios menos frequentes com controlos positivos a intervalos não superiores a seis meses. Embora a substância de controlo positivo deva ser ensaiada no excipiente para a qual é conhecida uma resposta consistente (por exemplo, acetona, azeite), podem existir certas situações regulamentares nas quais será igualmente necessário o ensaio com um excipiente não convencional (formulação clínica e/ou quimicamente relevante). Nessas condições, deve ser ensaiada a possível interacção de um controlo positivo com este excipiente não convencional.

1.3.2.3. *Número de animais, níveis de dosagem e selecção do excipiente*

Utilizam-se quatro animais, no mínimo, em cada grupo de dosagem e um mínimo de três concentrações da substância de ensaio, além de um controlo negativo tratado apenas com o excipiente para a substância de ensaio e, caso seja apropriado, um controlo positivo. Nos casos em que devam ser recolhidos dados individuais de cada animal, são utilizados, no mínimo, cinco animais por grupo de dosagem. Os animais nos grupos de controlo devem ser manuseados de modo idêntico ao usado para os animais nos grupos em tratamento, com excepção da ausência de tratamento com a substância de ensaio.

A escolha da dosagem e do excipiente deve basear-se nas recomendações fornecidas na referência (1). As doses são seleccionadas a partir da seguinte série de concentrações: 100 %, 50 %, 25 %, 10 %, 5 %, 2,5 %, 1 %, 0,5 %, etc. Devem ser considerados, desde que disponíveis, quaisquer dados preexistentes referentes a toxicidade aguda e irritação dérmica, na escolha das três concentrações consecutivas, de modo que a concentração mais alta maximize a exposição evitando ao mesmo tempo a toxicidade sistémica e a irritação local excessiva da pele (2) (11).

O excipiente deve ser escolhido com base na maximização das concentrações de ensaio e na solubilidade, produzindo também uma solução ou suspensão adequadas para aplicação da substância de ensaio. Os excipientes recomendados são, por ordem de preferência, o sistema acetona/azeite (4:1 v/v), dimetilformamida, metiletilcetona, propilenoglicol e dimetilsulfóxido (2) (10), embora possam ser utilizados outros se forem fornecidas bases científicas suficientes. Em certas situações, pode ser necessário efectuar um controlo adicional com um solvente clinicamente relevante ou uma formulação comercial na qual a substância de ensaio é comercializada. Deve ser tomado especial cuidado de modo a assegurar que os materiais hidrofílicos sejam incorporados num sistema de excipiente que molhe a pele e não escorra imediatamente. Devem ser portanto evitados os excipientes completamente aquosos.

1.3.3. Procedimento de ensaio**1.3.3.1. Calendário experimental**

O calendário experimental do ensaio é o seguinte:

Dia 1:

Identificar individualmente e anotar o peso de cada animal. Aplicar a descoberto no dorso de cada orelha 25 µl da diluição adequada da substância de ensaio, do excipiente sozinho ou do controlo positivo (conforme o caso).

Dias 2 e 3:

Repetir o procedimento de aplicação efectuado no dia 1.

Dias 4 e 5:

Não se faz tratamento.

Dia 6:

Anotar o peso de cada animal. Injectar 250 µl de tampão salino de fosfato (PBS) contendo 20 µCi (7,4e + 8 Bq) de ³H-metiltimidina em todos os ratos de ensaio e de controlo através da veia da cauda. Em alternativa, injectar 250 µL de PBS contendo 2 µCi (7,4e + 7 Bq) de ¹²⁵I-iododeoxiuridina e 10⁻⁵ M de fluorodeoxiuridina em todos os ratos através da veia da cauda.

Cinco horas depois, matam-se os animais. Os gânglios linfáticos auriculares em esvaziamento são cortados e demolidos em PBS, reunindo-se aqueles de cada grupo experimental (procedimento de conjunto de grupo de tratamento); em alternativa, podem cortar-se pares de gânglios linfáticos de cada animal e reuni-los em PBS para cada animal (procedimento de animal individual). Podem ser consultados pormenores e esquemas de identificação de gânglios e sua dissecação no anexo I da referência 10.

1.3.3.2. Preparação das suspensões celulares

Prepara-se uma só suspensão de células de gânglio linfático (LNC), quer a partir do conjunto dos grupos de tratamento, quer a partir dos animais individuais tratados bilateralmente, por desagregação mecânica suave através de um peneiro de aço inoxidável com uma malha de 200 µm. As células de gânglio linfático são lavadas duas vezes com excesso de PBS e precipitadas com uma solução de 5 % em ácido tricloroacético (TCA) a 4 °C durante 18 horas (1). Os sedimentos podem ser ressuspensos em 1 ml de TCA e transferidos para frascos de contador de cintilações contendo 10 ml de fluido de cintilação para contagem de ³H ou transferidos directamente para tubos de contagem gama para contagem de ¹²⁵I.

1.3.3.3. Determinação da proliferação celular (radioactividade incorporada)

A incorporação de ³H-metiltimidina é medida por contagem de cintilação β em desintegrações por minuto (DPM). A incorporação de ¹²⁵I-iododeoxiuridina é medida por contagem de ¹²⁵I e exprime-se igualmente em DPM. Consoante o procedimento seguido, a incorporação será expressa em DPM/grupo de tratamento (procedimento de conjunto) ou em DPM/animal (procedimento individual).

1.3.3.4. Observações**1.3.3.4.1. Observações clínicas**

Os animais devem ser cuidadosamente observados uma vez por dia com vista à detecção de quaisquer sinais clínicos, quer de irritação local no ponto de aplicação, quer de toxicidade sistémica. Todas as observações são sistematicamente anotadas, devendo manter-se registos individuais para cada animal.

1.3.3.4.2. Pesos corporais

Tal como mencionado na secção 1.3.3.1, deve ser medido o peso corporal de cada animal quer no início do ensaio quer na altura da sua morte.

1.3.4. **Análise dos resultados**

Os resultados expressam-se em Índices de Estimulação (SI). Caso se utilize o procedimento de conjunto, o SI obtém-se pela razão entre a incorporação conjunta de radioactividade para cada grupo de tratamento e a incorporação conjunta do grupo de controlo com excipiente. O valor obtido corresponde ao SI médio. Caso se utilize o procedimento individual, o SI é determinado dividindo a média do DPM/animal dentro de cada grupo de tratamento e do grupo controlo positivo pela média da DPM/animal do grupo de controlo com solvente/excipientes. O SI médio para os controlos tratados com excipiente deve ser 1.

A utilização do procedimento individual para cálculo do SI permitirá que se efectue uma análise estatística dos dados. Na escolha do método de análise estatística mais apropriado, o investigador deve estar ciente das possíveis discrepâncias das variâncias e de outros problemas relacionados que possam exigir uma transformação de dados ou uma análise estatística não paramétrica. Um procedimento adequado à interpretação dos dados consiste em avaliar individualmente todos os dados obtidos para os controlos tratados e com excipiente e determinar a curva de resposta à dosagem que melhor se ajustar a estes, tendo em conta os limites de confiança (8) (12) (13). Contudo, o investigador deve estar atento a possíveis respostas isoladas para determinados animais dentro de um grupo, que podem implicar a utilização de uma medida de resposta alternativa (por exemplo, mediana em vez de média) ou a eliminação da resposta isolada.

O processo de decisão respeitante a uma resposta positiva inclui um índice de estimulação > 3 conjuntamente com a consideração da resposta à dosagem e, quando apropriado, do grau de significância estatístico (3) (6) (8) (12) (14).

Se for necessária uma clarificação dos resultados obtidos, devem ser tidas em consideração as várias propriedades da substância de ensaio, incluindo se esta possui uma estrutura química semelhante a sensibilizadores conhecidos da pele, se causa irritação excessiva da pele e qual a natureza da resposta à dosagem observada. Estas e outras considerações são analisadas detalhadamente na referência (7).

2. **DADOS**

Os dados devem ser apresentados resumidamente sob a forma de uma tabela da qual constem os valores médios e individuais de DPM e os índices de estimulação para cada grupo de doses (incluindo o controlo com excipiente).

3. **RELATÓRIO**

RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deverá incluir as seguintes informações:

Substância de ensaio:

- dados de identificação (por exemplo, número CAS, caso exista; origem; grau de pureza; impurezas conhecidas; número de lote);
- natureza física e propriedades físico-químicas (por exemplo, volatilidade, estabilidade, solubilidade);
- caso seja uma mistura, composição e percentagens relativas dos seus componentes.

Excipiente:

- dados de identificação (grau de pureza; concentração, se adequado; volume utilizado);
- justificação para a escolha do excipiente.

Animais de ensaio:

- estirpe dos ratos utilizados;
- estado microbiológico dos animais, caso seja conhecido;
- número, idade e sexo dos animais;

- origem dos animais, condições de alojamento, dieta, etc.

Condições do ensaio:

- pormenores sobre a preparação e aplicação da substância de ensaio;
- justificação para a escolha de dosagens, incluindo os resultados do estudo de escolha de gama, caso tenha sido efectuado; concentrações do excipiente e da substância de ensaio utilizadas e quantidade total de substância aplicada;
- pormenores sobre a qualidade do alimento e da água (incluindo o tipo de dieta e a sua origem, origem da água).

Verificação da fiabilidade:

- resumo dos resultados da última verificação de fiabilidade, incluindo informação sobre a substância, concentração e excipiente utilizado;
- dados de controlo concorrentes e/ou históricos positivos e negativos para o laboratório de ensaios.

Resultados:

- pesos de cada animal no início da dosagem e na altura da sua morte;
- tabela de valores médios (procedimento de conjunto) ou individuais (procedimento individual) de DPM, assim como os valores-limite para as duas aproximações e os índices de estimulação para cada grupo de doses (incluindo o controlo com excipiente);
- análise estatística, quando apropriado;
- aparecimento e evolução temporal de sinais de toxicidade, incluindo irritação dérmica no local de administração, caso ocorra, para cada animal.

Análise dos resultados:

- inclui um comentário breve sobre os resultados obtidos, a análise da resposta à dosagem, as análises estatísticas, caso sejam apropriadas, e uma conclusão sobre se a substância de ensaio deve ou não ser considerada como sensibilizadora da pele.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Kimber, I. and Basketter, D.A., (1992) The murine local lymph node assay; collaborative studies and new directions: A commentary. Food and Chemical Toxicology 30, p. 165-169.
- (2) Kimber, I., Derman, R.J., Scholes E.W., and Basketter, D.A., (1994) The local lymph node assay: developments and applications. Toxicology, 93, p. 13-31.
- (3) Kimber, I., Hilton, J., Dearman, R.J., Gerberick, G.F., Ryan, C.A., Basketter, D.A., Lea, L., House, R.V., Ladies, G.S., Loveless, S.E., Hastings, K.L., (1998) Assessment of the skin sensitisation potential of topical medicaments using the local lymph node assay: An interlaboratory exercise. Journal of Toxicology and Environmental Health, 53, p. 563-79.
- (4) Método de Ensaio B.6.
- (5) Chamberlain, M. and Basketter, D.A., (1996) The local lymph node assay: status of validation. Food and Chemical Toxicology, 34, p. 999-1002.
- (6) Basketter, D.A., Gerberick, G.F., Kimber, I. and Loveless, S.E (1996) The local lymph node assay- A viable alternative to currently accepted skin sensitisation tests. Food and Chemical Toxicology, 34, p. 985-997.

- (7) Basketter, D.A., Gerberick, G.F. and Kimber, I., (1998) Strategies for identifying false positive responses in predictive sensitisation tests. *Food and Chemical Toxicology*, 36, p. 327-33.
- (8) Van Och, F.M.M, Slob, W., De Jong, W.H., Vandebriel, R.J., Van Loveren, H., (2000) A quantitative method for assessing the sensitising potency of low molecular weight chemicals using a local lymph node assay: employment of a regression method that includes determination of uncertainty margins. *Toxicology*, 146, p. 49-59.
- (9) Dearman, R.J., Hilton, J., Evans, P., Harvey, P., Basketter, D.A. and Kimber, I., (1998) Temporal stability of local lymph node assay responses to hexyl cinnamic aldehyde. *Journal of Applied Toxicology*, 18, p. 281-4.
- (10) National Institute of Environmental Health Sciences (1999) The Murine Local Lymph Node Assay: A Test Method for Assessing the Allergic Contact Dermatitis Potential of Chemicals/Compounds: The Results of an Independent Peer Review Evaluation Coordinated by the Interagency Coordinating Committee on the Validation of Alternative Methods (ICCVAM) and the National Toxicology Program Center for the Evaluation of Alternative Toxicological Methods (NICETAM). NIH Publication No: 99-4494, Research Triangle Park, N.C. (<http://iccvam.niehs.nih.gov>).
- (11) Método de Ensaio B.4.
- (12) Basketter, D.A., Selbie, E., Scholes, E.W. Lees, D. Kimber, I. and Botham, P.A., (1993) Results with OECD recommended positive control sensitisers in the maximisation, Buehler and local lymph node assays. *Food and Chemical Toxicology*, 31, p. 63-67.
- (13) Basketter D.A., Lea L.J., Dickens A., Briggs D., Pate I., Dearman R.J., Kimber I., (1999) A comparison of statistical approaches to the derivation of EC₃ values from local lymph node assay dose responses. *J. Appl. Toxicology*, 19, p. 261-266.
- (14) Basketter D.A., Blaikie L., Derman R.J., Kimber I., Ryan C.A., Gerberick G.F., Harvey P., Evans P., White I.R. and Rycroft R.T.G. (2000) Use of local lymph node assay for the estimation of relative contact allergenic potency. *Contact Dermatitis* 42, p. 344-48.

B.43. ESTUDO DE NEUROTOXICIDADE EM ROEDORES**1. MÉTODO**

O presente método é equivalente ao «Test Guideline» TG 424 da OCDE (1997).

O presente Método de Ensaio foi concebido para obter a informação necessária para confirmar ou conseguir uma melhor caracterização da potencial neurotoxicidade de substâncias químicas em animais adultos. Pode ser combinado com Métodos de Ensaio para estudos de toxicidade de dose repetida ou efectuado como um estudo independente. Recomenda-se a consulta do Documento de Orientação da OCDE sobre Estratégias e Métodos de Ensaios de Neurotoxicidade (1) para a concepção dos estudos baseados no presente Método de Ensaio. Este facto é particularmente importante no caso de se considerarem alterações das observações ou dos procedimentos de ensaio recomendados para uso rotineiro do presente método. O Documento de Orientação foi preparado para facilitar a selecção de outros procedimentos de ensaio para uso em circunstâncias específicas.

A avaliação de neurotoxicidade em relação ao desenvolvimento não é abrangida pelo presente método.

1.1. INTRODUÇÃO

Na avaliação das características tóxicas das substâncias químicas, é importante considerar o potencial de efeitos neurotóxicos. O Método de Ensaio para toxicidade sistémica de dose repetida inclui observações conducentes ao rastreio de neurotoxicidade potencial. O presente Método de Ensaio pode ser utilizado na concepção de um estudo para obtenção de informação suplementar ou para confirmação dos efeitos observados nos estudos de toxicidade sistémica de dose repetida. No entanto, uma ponderação da neurotoxicidade potencial de certo tipo de substâncias químicas pode ser indicativa de esta ser avaliada mais apropriadamente utilizando o presente método, mesmo na ausência de indicações prévias de existência de neurotoxicidade potencial provenientes de estudos de toxicidade sistémica de dose repetida. Tal ponderação pode incluir, por exemplo:

- observação dos sinais neurológicos ou lesões neuropatológicas em estudos de toxicidade diferentes dos estudos de toxicidade sistémica de dose repetida, ou
- relação estrutural ou outra informação que estabeleça uma ligação com outros neurotóxicos conhecidos.

Além disso, podem existir outras circunstâncias para as quais é apropriada a utilização do presente Método de Ensaio. Para informação detalhada, consultar a referência (1).

O presente método foi desenvolvido de modo a poder ser adaptado às necessidades específicas para a confirmação da neurotoxicidade histopatológica e comportamental de uma substância química, bem como a permitir uma caracterização e quantificação das respostas neurotóxicas.

No passado, a neurotoxicidade foi identificada como neuropatia envolvendo lesões neuropatológicas ou anomalias neurológicas, tais como convulsão, paralisia ou tremores. Apesar da neuropatia ser uma importante manifestação de neurotoxicidade, é actualmente claro que existem muitos outros sinais de toxicidade no sistema nervoso (por exemplo, perda de coordenação motora, deficiências sensoriais, disfunções da aprendizagem e da memória) que podem não se reflectir em neuropatia ou noutro tipo de estudos.

O presente Método de Ensaio de neurotoxicidade foi concebido para detectar os principais efeitos neurocomportamentais e neuropatológicos em roedores adultos. Apesar de os efeitos comportamentais, mesmo na ausência de alterações morfológicas, poderem reflectir um impacto nefasto no organismo, nem todas as alterações comportamentais são específicas do sistema nervoso. Assim, quaisquer alterações observadas devem ser avaliadas em conjunto com os dados histopatológicos, hematológicos ou bioquímicos relacionados, bem como com dados provenientes de outros tipos de toxicidade sistémica. O ensaio utilizado, no presente método, para fornecer uma caracterização e quantificação das respostas neurotóxicas inclui procedimentos histopatológicos e comportamentais específicos que podem ser confirmados por investigações electrofisiológicas e/ou bioquímicas (1) (2) (3) (4).

Os neurotóxicos podem actuar sobre o sistema nervoso em vários alvos e por diversos mecanismos. Dado que não é possível utilizar uma única série de ensaios para avaliar completamente o potencial neurotóxico de todas as substâncias, pode ser necessário utilizar outros ensaios *in vivo* ou *in vitro* específicos para o tipo de neurotoxicidade observada ou prevista.

O presente Método de Ensaio, pode também ser utilizado em conjunto com as orientações estabelecidas pelo Documento de Orientação da OCDE sobre Estratégias e Métodos de Ensaios de Neurotoxicidade (1), para a concepção de estudos destinados a uma caracterização suplementar ou um aumento da sensibilidade da quantificação da curva dose-efeito, de modo a obter uma melhor estimativa do nível sem efeito adverso observável ou a confirmar a perigosidade conhecida ou prevista de uma substância química. Por exemplo, os estudos podem ser concebidos para identificar e avaliar o(s) mecanismo(s) neurotóxico(s) ou para obter

informação suplementar sobre dados previamente disponíveis a partir do uso de procedimentos de observação neurocomportamental e neuropatológica básicos. Tais estudos necessitam de dados não replicados que seriam obtidos pelo uso dos procedimentos padronizados recomendados no presente método, caso esses dados não se encontrem já disponíveis e não sejam considerados necessários para a interpretação dos resultados do estudo.

O presente estudo de neurotoxicidade, quer utilizado independentemente, quer em conjunto com outros métodos, permite obter informação para:

- identificar se o sistema nervoso central é afectado permanente ou reversivelmente pela substância química ensaiada;
- contribuir para a caracterização das alterações do sistema nervoso central associadas à exposição à substância química e para a compreensão do mecanismo subjacente;
- determinar as curvas dose-efeito e tempo-efeito, de modo a obter uma estimativa do nível sem efeito adverso observável (que pode ser utilizado para estabelecer critérios de segurança para a substância química).

O presente método utiliza a administração oral da substância de ensaio. Podem ser mais apropriadas outras vias de administração (por exemplo, dérmica ou por inalação), pelo que podem ser necessárias modificações dos procedimentos recomendados. A selecção ponderada, da via de administração, depende do perfil de exposição humana e da informação toxicológica e cinética disponível.

1.2. DEFINIÇÕES

Efeito adverso: qualquer alteração à normalidade relacionada com o tratamento que diminua a capacidade de um organismo para sobreviver, reproduzir-se ou adaptar-se ao meio ambiente.

Dose: quantidade aplicada da substância de ensaio. O valor da dose é expresso em peso (g, mg) de substância de ensaio por unidade de peso de animal de ensaio (por exemplo, mg/kg) ou em concentrações dietéticas constantes (ppm).

Dosagem: termo geral que inclui a dose, a sua frequência e a duração da aplicação da dose.

Neurotoxicidade: alteração adversa na estrutura ou função do sistema nervoso que resulta da exposição a um agente químico, biológico ou físico.

Neurotóxico: agente químico, biológico ou físico que apresenta potencial para causar neurotoxicidade.

NSEAO: abreviatura para nível sem efeito adverso observável; corresponde à maior dose ou ao maior nível de exposição para o qual não se observam efeitos adversos relacionados com o tratamento.

1.3. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

A substância química de ensaio é administrada por via oral ao longo de uma gama de doses a vários grupos de roedores de laboratório. São normalmente necessárias doses repetidas e o regime de dosagem pode ser de 28 dias, subcrónico (90 dias) ou crónico (1 ano ou mais). Os procedimentos estabelecidos no presente Método de Ensaio podem também ser usados para um estudo de neurotoxicidade aguda. Os animais são ensaiados de modo a permitir a detecção ou a caracterização de anomalias comportamentais e/ou neurológicas. Durante cada período de observação é avaliada uma gama de comportamentos que podem ser afectados por neurotóxicos. No final do ensaio, um subconjunto de animais de cada sexo e de cada grupo é submetido a perfusão *in situ* e são preparadas e examinadas secções do cérebro, medula espinal e nervos periféricos.

No caso do estudo ser efectuado independentemente para rastreio de neurotoxicidade ou caracterização dos efeitos neurotóxicos, os animais de cada grupo que não são utilizados para perfusão e histopatologia subsequente (consultar tabela 1) podem ser utilizados em procedimentos neurocomportamentais, neuropatológicos, neuroquímicos e electrofisiológicos específicos que podem complementar os dados obtidos nos exames padronizados necessários ao presente método (1). Estes procedimentos suplementares podem ser particularmente úteis nos casos em que as observações empíricas ou os efeitos previstos revelam um tipo ou alvo específicos de neurotoxicidade de determinado agente químico. Alternativamente, os restantes animais podem ser utilizados em avaliações, tais como as necessárias aos Métodos de Ensaio para estudos de dose repetida em roedores.

No caso de se combinarem os procedimentos do presente Método de Ensaio, com os de outros Métodos de Ensaio, é necessário um número suficiente de animais para satisfazer as necessidades de observações de ambos os estudos.

1.4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.4.1. Selecção de espécies animais

A espécie preferida de roedores para ensaio é o rato, mas, caso seja apresentada uma justificação, podem ser utilizadas outras espécies de roedores. Devem ser utilizadas estirpes laboratoriais de uso corrente e animais adultos, jovens e saudáveis. As fêmeas devem ser nulíparas e não devem estar grávidas. A aplicação da dose deve começar o mais rapidamente possível após o desmame, preferencialmente com animais que não tenham completado ainda seis semanas e sempre com animais com menos de nove semanas. No entanto, nos casos em que o estudo é combinado com outros estudos, pode ser necessário ajustar este requisito de idade. No início do estudo a diferença de peso entre os animais deverá ser mínima, não podendo ultrapassar 20 % do peso médio de cada sexo. No caso de se efectuar um estudo de dose repetida de curta duração, como estudo preliminar do estudo de longo prazo, os animais utilizados em ambos os estudos devem ser da mesma estirpe e da mesma proveniência.

1.4.2. Condições de alojamento e alimentação

A temperatura do compartimento experimental dos animais deve ser de 22 °C ($\pm$ 3 °C). A humidade relativa deverá ser 50 %-60 %, embora sejam aceitáveis valores entre um mínimo de 30 % e um máximo que, de preferência, não deverá exceder 70 %, salvo durante os períodos de limpeza do compartimento. A iluminação deve ser artificial, com sequências de 12 horas de luz e 12 horas de escuridão. Os ruídos intensos intermitentes devem ser minimizados. A alimentação pode basear-se em dietas de laboratório convencionais, com fornecimento ilimitado de água para beber. Quando a substância de ensaio for administrada pela alimentação, a escolha da dieta poderá ser condicionada pela necessidade de assegurar a dosagem adequada. Os animais podem ser alojados individualmente ou em pequenos grupos do mesmo sexo.

1.4.3. Preparação dos animais

Os animais jovens e saudáveis são distribuídos aleatoriamente pelos grupos de tratamento e de controlo. As gaiolas devem ser dispostas de forma a minimizar possíveis efeitos derivados do seu posicionamento. Os animais são marcados de modo a permitir uma identificação individualizada e mantidos nas suas gaiolas durante, pelo menos, cinco dias antes do início da administração das doses, de modo a permitir que se aclimatem às condições laboratoriais.

1.4.4. Via de administração e preparação das doses

O presente Método de Ensaio aborda especificamente a administração oral da substância de ensaio. A forma de administração pode ser por sonda esofágica, através da alimentação ou da água de beber ou por cápsulas. Podem ser mais apropriadas outras vias de administração (por exemplo, dérmica ou por inalação), pelo que podem ser necessárias modificações dos procedimentos recomendados. A selecção ponderada da via de administração depende do perfil de exposição humana e da informação toxicológica e cinética disponível. Devem ser apresentadas uma justificação para a selecção da via de administração, bem como as modificações dos procedimentos do Método de Ensaio daí resultantes.

Se for necessário, a substância de ensaio pode ser dissolvida ou suspensa num excipiente apropriado. Recomenda-se que, sempre que possível, seja considerada em primeiro lugar a utilização de uma solução/suspensão aquosa; caso tal não seja viável, pode considerar-se o uso de uma solução/suspensão em óleo (por exemplo, óleo de milho); em último caso, poderá eventualmente recorrer-se ao uso de soluções/suspensões noutros excipientes. Devem conhecer-se as características tóxicas dos excipientes. Deverão ser tomadas em consideração as seguintes características do excipiente: efeitos na absorção, distribuição, metabolismo ou retenção da substância de ensaio, que possam modificar as suas características tóxicas e efeitos no consumo de alimentos, na ingestão de água ou no estado nutricional dos animais.

1.5. PROCEDIMENTOS

1.5.1. Número e sexo dos animais

No caso de o estudo ser efectuado independentemente, devem ser utilizados pelo menos 20 animais (10 fêmeas e 10 machos) em cada grupo de dose e de controlo para a avaliação das observações clínicas e funcionais detalhadas. Pelo menos cinco machos e cinco fêmeas, seleccionados dos grupos de 10 machos e 10 fêmeas, devem ser sujeitos a perfusão e utilizados para neuro-histopatologia detalhada no final do estudo. Nos casos em que apenas é observado um número limitado de animais, num determinado grupo de dose, para detecção de efeitos neurotóxicos, deve considerar-se a inclusão destes animais no grupo seleccionado para perfusão. No caso de o estudo ser efectuado em conjunto com um estudo de toxicidade de dose repetida, deve ser utilizado um número de animais adequado de modo a cumprir os objectivos de ambos os estudos. Na tabela 1 apresentam-se os números mínimos de animais por grupo para vários estudos combinados. No caso de se planearem grupos de mortes intermédias ou de recuperação para observação da reversibilidade, persistência ou ocorrência retardada de efeitos tóxicos pós-tratamento ou quando são consideradas observações suplementares, o número de animais deve ser aumentado de modo a assegurar que se encontra disponível o número de animais necessário para observação e histopatologia.

1.5.2. Grupos de ensaio e de controlo

Em geral devem ser utilizados pelo menos três grupos de dose e um grupo de controlo, mas se pela avaliação de outros dados não forem previstos quaisquer efeitos a uma dose repetida de 1 000 mg/kg de peso corporal/dia pode ser efectuado um teste-limite. Caso não se encontrem disponíveis dados adequados, pode ser

efectuado um estudo preliminar de avaliação da gama, de modo a permitir a determinação das doses a utilizar. Os animais do grupo de controlo devem ser tratados da mesma maneira que os animais dos grupos de ensaio, com excepção do tratamento com a substância de ensaio. Caso seja utilizado um excipiente, o grupo de controlo deverá receber o volume máximo de excipiente utilizado no ensaio.

1.5.3. **Teste de fiabilidade**

O laboratório que efectua o estudo deve apresentar dados comprovativos da sua capacidade para efectuar o estudo e relativos à sensibilidade dos procedimentos utilizados. Tais dados devem provar a capacidade de detectar e quantificar, como apropriadas, alterações nos diferentes critérios específicos recomendados para observação, tais como sinais autonómicos, reactividade sensorial, força de preensão dos membros e actividade motora. Podem ser consultadas as referências 2 a 9 para informações sobre substâncias químicas que provocam diferentes respostas neurotóxicas e que podem ser utilizadas como controlos positivos. Podem ser utilizados dados históricos desde que os procedimentos experimentais não sejam alterados. Recomenda-se uma actualização periódica dos dados históricos. Caso o laboratório executante modifique alguns elementos essenciais da execução do ensaio ou procedimentos, devem obter-se novos dados comprovativos de que a sensibilidade dos procedimentos não foi alterada.

1.5.4. **Seleccção da dose**

A escolha dos níveis de dose deverá tomar em consideração todos os dados de toxicidade e cinética existentes para a substância de ensaio ou as substâncias relacionadas. Deve ser seleccionado o nível de dose mais elevado que induza efeitos neurotóxicos ou efeitos tóxicos sistémicos evidentes. Deve seleccionar-se uma sequência descendente de níveis de dose que permita detectar qualquer resposta relacionada com a dose e determinar o nível sem efeito adverso observável (NSEAO) ao nível de dose mais baixo. Em princípio, os níveis de dose devem ser estabelecidos de modo a permitir distinguir entre os efeitos tóxicos primários no sistema nervoso e os efeitos relacionados com toxicidade sistémica. Em muitos casos, a melhor forma de estabelecer estas sequências consiste no espaçamento das doses em dois a três intervalos. A adição de um quarto grupo de ensaio é muitas vezes preferível ao uso de intervalos muito grandes entre as dosagens (ou seja, com um factor superior a 10). Nos casos em que existe uma estimativa razoável da exposição humana, esta deve também ser tomada em consideração.

1.5.5. **Teste-limite**

Se um ensaio com um nível de dose oral de pelo menos 1 000 mg/kg de peso corporal/dia, realizado de acordo com os procedimentos descritos neste estudo, não provocar efeitos neurotóxicos observáveis e se, além disso, os dados existentes sobre compostos estruturalmente relacionados com a substância de ensaio não sugerirem a possível ocorrência de toxicidade, poderá considerar-se desnecessário realizar um ensaio completo com três níveis de dose. Nos casos em que se preveja exposição humana poderá ser necessário aumentar o nível de dose oral no ensaio-limite. Quando se usam outras formas de administração, como inalação ou aplicação cutânea, as propriedades físico-químicas da substância de ensaio são muitas vezes indicativas e limitativas do nível máximo de exposição praticável. Para a execução do estudo oral agudo, a dose para o teste-limite deve ser, no mínimo, de 2 000 mg/kg.

1.5.6. **Administração de doses**

A aplicação da dose da substância de ensaio nos animais é efectuada diariamente, sete dias por semana, durante um período de pelo menos 28 dias. O uso de um período de dosagem de cinco dias ou inferior deve ser justificado. A administração por sonda esofágica deve ser feita, de preferência, numa toma única, usando um tubo estomacal ou uma cânula de intubação apropriada. O volume máximo de líquido que pode ser administrado de cada vez depende do tamanho do animal de ensaio. O volume não deve exceder 1 ml/100 g de peso corporal. Para soluções aquosas, contudo, pode ser considerada a dose de 2 ml/100 g de peso corporal. Deve minimizar-se a variabilidade do volume de ensaio efectuando ajustes nas concentrações, de forma a assegurar a constância do volume em todos os níveis de dose; exceptuam-se os casos em que se utilizam substâncias irritantes ou corrosivas, que normalmente exercem efeitos exacerbados quando aplicadas em concentrações mais elevadas.

É importante assegurar que as quantidades da substância de ensaio administradas através da alimentação ou da água de beber não interferem nas exigências normais de nutrição ou de consumo de água. Quando a substância de ensaio for incorporada na alimentação pode utilizar-se uma concentração alimentar constante (ppm) ou, alternativamente, um nível de dose constante em relação ao peso corporal dos animais; deve especificar-se o método escolhido para o ensaio. No caso de uma substância administrada por sonda esofágica, a dose deve ser administrada todos os dias à mesma hora, devendo ser ajustada pelo menos uma vez por semana a fim de se manter uma dose constante em relação ao peso corporal do animal. No caso de se efectuar um estudo de dose repetida, como estudo preliminar de um estudo de longo prazo, deve utilizar-se uma dieta semelhante em ambos os estudos. Nos estudos de toxicidade aguda, se não for possível a administração de uma toma única, a dose pode ser administrada em fracções menores ao longo de um período não superior a 24 horas.

1.6. **OBSERVAÇÕES**

1.6.1. **Frequência das observações e ensaios**

Nos estudos de dose repetida, o período de observação deve abranger o período de dosagem. Nos estudos de toxicidade aguda deve ser observado um período de 14 dias após o tratamento. As observações devem também abranger este período para os animais em grupos-satélite que foram mantidos sem exposição durante o período após o tratamento.

As observações devem ser efectuadas com uma frequência suficiente para maximizar a probabilidade de detecção de qualquer anomalia comportamental e/ou neurológica. As observações devem ser, preferencialmente, efectuadas à mesma hora, todos os dias, tendo em conta o período de pico previsto de efeitos após aplicação da dose. Na tabela 2 apresenta-se resumida a frequência das observações clínicas, bem como dos ensaios funcionais. No caso de existirem dados cinéticos ou outros dados obtidos em estudos prévios indicativos da necessidade de se utilizarem diferentes momentos de observação, ensaios ou períodos de observação posteriores, deve adoptar-se um calendário alternativo de modo a obter o máximo de informação. Deve apresentar-se uma justificação para as alterações introduzidas no calendário.

1.6.1.1. *Observações do estado de saúde geral e da mortalidade/morbilidade*

Todos os animais devem ser observados cuidadosamente, pelo menos uma vez por dia, para avaliar o seu estado de saúde geral, bem como, pelo menos duas vezes por dia, para avaliar a mortalidade e morbilidade.

1.6.1.2. *Observações clínicas pormenorizadas*

Devem ser efectuadas observações clínicas pormenorizadas em todos os animais seleccionados para este fim (consultar a tabela 1), uma vez antes da primeira exposição (de modo a permitir a comparação entre os diferentes animais) e, posteriormente, a diferentes intervalos, consoante a duração do estudo (consultar a tabela 2). Devem ser também efectuadas observações clínicas pormenorizadas nos grupos-satélite de recuperação no final do período de recuperação. As observações clínicas pormenorizadas devem ser efectuadas no exterior do compartimento experimental, numa arena-padrão. Devem ser registadas cuidadosamente utilizando sistemas de pontuação que incluam escalas de critérios ou de pontuação para cada medição das observações. Os critérios ou escalas utilizados devem ser explicitamente definidos pelo laboratório de ensaio. Deve assegurar-se que as variações das condições de ensaio são mínimas (não sistematicamente relacionadas com o tratamento) e que as observações são efectuadas por pessoal especializado sem conhecimento do tratamento efectuado.

Recomenda-se que as observações sejam efectuadas de um modo estruturado, em que se aplicam sistematicamente critérios bem definidos (incluindo a definição de «gama» normal) a cada animal, em cada observação. A «gama normal» deve ser apropriadamente documentada. Devem ser registados todos os sinais observados. Sempre que possível, deve também ser registada a intensidade dos sinais observados. As observações clínicas devem incluir, entre outros aspectos, alterações na pele, pêlo, olhos, membranas mucosas, ocorrência de secreções e excreções e actividade autónoma (por exemplo, lacrimação, erecção pilosa, tamanho da pupila, padrão respiratório anormal e/ou respiração pela boca, quaisquer sinais pouco usuais de urina ou defecação e urina descorada).

Devem ser registadas quaisquer respostas pouco usuais relativas à posição corporal, nível de actividade (por exemplo, maior ou menor exploração da arena-padrão) e coordenação dos movimentos. Também devem ser registadas alterações na marcha (por exemplo, marcha bamboleante, ataxia), postura (por exemplo, dorso arqueado) e reactividade ao manuseamento, colocação ou outros estímulos ambientais, bem como a presença de movimentos clónicos ou tónicos, convulsões ou tremores, estereótipos (por exemplo, higiene excessiva, movimentos de cabeça pouco usuais, locomoção em círculos repetitiva) ou comportamento anómalo (por exemplo, morder ou lambem excessivamente, automutilação, andar para trás, vocalização) ou agressão.

1.6.1.3. *Ensaio funcionais*

Tal como para o caso das observações clínicas pormenorizadas, devem ser efectuados ensaios funcionais uma vez antes da exposição e frequentemente após a exposição nos animais seleccionados para este fim (consultar a tabela 1). A frequência dos ensaios funcionais depende também da duração do estudo (consultar a tabela 2). Além dos períodos de observação, estabelecidos na tabela 2, as observações funcionais dos grupos-satélite de recuperação devem também ser efectuadas o mais próximo possível da morte terminal. Os ensaios funcionais devem incluir a reactividade sensorial a estímulos de várias tipos [por exemplo, estímulos auditivos, visuais e proprioceptivos (5) (6) (7)], a avaliação da força de preensão dos membros (8) e a avaliação da actividade motora (9). A actividade motora deve ser medida com um dispositivo automático capaz de detectar tanto aumentos como diminuições de actividade. Caso seja utilizado outro sistema definido, este deve ser quantitativo e a sua sensibilidade e fiabilidade devem ser comprovadas. Cada dispositivo deve ser ensaiado para assegurar a fiabilidade ao longo do tempo e a consistência entre os diferentes dispositivos. Nas respectivas referências apresenta-se informação detalhada sobre os procedimentos a seguir. Caso não existam quaisquer dados (por exemplo, relações estrutura-actividade, dados epidemiológicos, outros estudos toxicológicos) indicativos dos potenciais efeitos neurológicos, deve ser considerada a inclusão de ensaios mais especializados de função sensorial e motora ou de aprendizagem e memória de modo a que estes possíveis efeitos sejam examinados mais pormenorizadamente. Na referência (1) apresentam-se informações adicionais sobre os ensaios especializados e sua utilização.

Excepcionalmente, os animais que apresentem sinais de toxicidade numa extensão que afecte significativamente o ensaio funcional podem ser excluídos deste ensaio. Deve ser apresentada uma justificação para a exclusão de animais do ensaio funcional.

1.6.2. **Peso corporal e consumo de alimento/água**

Para estudos com duração até 90 dias, todos os animais devem ser pesados, pelo menos, uma vez por semana, e devem ser feitas medições do consumo de alimentos (consumo de água, caso a substância de ensaio seja administrada por este meio) pelo menos semanalmente. Para estudos de longo prazo, todos os animais devem ser pesados pelo menos uma vez por semana durante as 13 primeiras semanas e seguidamente pelo menos de

4 em 4 semanas. Devem ser feitas medições do consumo de alimentos (consumo de água, caso a substância de ensaio seja administrada por este meio), pelo menos semanalmente, nas primeiras 13 semanas, e seguidamente com um intervalo de cerca de três meses, excepto se o estado de saúde ou as variações de peso corporal indicarem que se deve fazer com outra periodicidade.

1.6.3. **Oftalmologia**

Para estudos de duração superior a 28 dias deve ser efectuado um exame oftalmológico, utilizando um oftalmoscópio ou um instrumento equivalente adequado, antes da administração da substância de ensaio e no final do estudo. Preferencialmente este exame deve ser feito a todos os animais ou, pelo menos, aos animais dos grupos de doses elevadas e dos grupos de controlo. Todos os animais devem ser examinados caso sejam detectadas alterações oculares ou caso os sintomas clínicos assim o indiquem. Para estudos de longo prazo, o exame oftalmológico deve também ser efectuado no final de 13 semanas. Não é necessário efectuar os exames oftalmológicos se existirem dados disponíveis de outros estudos com duração semelhante e com níveis de dose semelhantes.

1.6.4. **Hemograma e química clínica**

Se o estudo de neurotoxicidade for efectuado em conjunto com um estudo de toxicidade sistémica de dose repetida, devem ser efectuadas análises clínicas (hemograma e química clínica), tal como estabelecido no respectivo método do estudo de toxicidade sistémica. A recolha das amostras deve ser efectuada de modo a minimizar quaisquer potenciais efeitos no comportamento neuronal.

1.6.5. **Histopatologia**

O exame neuropatológico deve ser concebido a fim de complementar e aprofundar as observações efectuadas durante a fase *in vivo* do estudo. Os tecidos provenientes de, pelo menos, cinco animais de cada grupo do mesmo sexo (consultar a tabela 1 e o parágrafo seguinte) devem ser fixados *in situ* por utilização de técnicas de perfusão e fixação comumente adoptadas (consultar a referência 3, capítulo 5, e a referência 4, capítulo 50). Devem ser registadas quaisquer alterações importantes que sejam observadas. No caso de o estudo ser efectuado independentemente para rastreio de neurotoxicidade ou para caracterizar efeitos neurotóxicos, os animais que não sejam utilizados podem sê-lo em procedimentos neurocomportamentais (10) (11), neuropatológicos (10) (11) (12) (13), neuroquímicos (10) (11) (14) (15) e electrofisiológicos específicos que podem complementar os procedimentos e exames descritos ou podem ser acrescentados aos animais sujeitos a exame histopatológico. Estes procedimentos complementares têm um interesse especial quando as observações empíricas ou os efeitos previstos são indicativos de um tipo ou alvo específicos para a neurotoxicidade (2) (3). Os animais não utilizados podem, alternativamente, sê-lo em avaliações patológicas de rotina tal como descritas no método para estudos de dose repetida.

Deve ser utilizada uma técnica de coloração convencional, tal como hematoxilina ou eosina (H&E), em todas as amostras de tecidos, que devem ser fixadas em parafina e examinadas ao microscópio. Caso sejam observados sintomas de neuropatia periférica ou haja suspeitas nesse sentido, devem ser examinadas amostras de tecido nervoso periférico fixado em plástico. Os sintomas clínicos podem igualmente sugerir o exame a locais adicionais ou a utilização de técnicas de coloração especiais. Podem obter-se orientações sobre os locais adicionais a examinar em (3) e (4). Pode também ser útil a utilização de técnicas de coloração especiais apropriadas à demonstração de alterações patológicas específicas (18).

Os segmentos representativos dos sistemas nervosos central e periférico devem ser sujeitos a exame histopatológico (consultar a referência 3, capítulo 5, e a referência 4, capítulo 50). As áreas a examinar devem normalmente incluir: o cérebro anterior, o centro do cérebro, incluindo uma secção através do hipocampo, o mesencéfalo, o cerebelo, a ponte de Varolio, a *medulla oblongata*, o olho, incluindo o nervo óptico e a retina, a espinal medula ao nível das protuberâncias cervical e lombar, os gânglios da raiz dorsal, as fibras das raízes dorsal e ventral, o nervo ciático proximal, o nervo tibial proximal (no joelho) e as ramificações do nervo tibial nos gémeos. Devem ser examinadas as secções coronal, transversal e longitudinal da espinal medula e dos nervos periféricos. Deve ser dada especial atenção à vasculatura do sistema nervoso. Deve ser igualmente analisada uma amostra de músculo esquelético, nomeadamente, gémeos. Deve ser prestada especial atenção aos locais com estrutura e padrão celular e fibroso bi SNC e SNP que se saiba serem particularmente vulneráveis a substâncias neurotóxicas.

Podem obter-se orientações sobre as alterações neuropatológicas que resultam tipicamente da exposição a substâncias tóxicas nas referências (3) e (4). Recomenda-se um exame minucioso das amostras de tecidos, no qual são inicialmente comparados os cortes seccionais obtidos no grupo de dose mais elevada com os obtidos no grupo de controlo. Caso não sejam observadas quaisquer alterações neuropatológicas nas amostras provenientes desses grupos, não é necessário efectuar quaisquer análises subsequentes. Caso sejam observadas alterações neuropatológicas no grupo de dose mais elevada, as amostras de cada um dos tecidos potencialmente afectados provenientes dos grupos de doses intermédia e reduzida devem ser codificadas e analisadas sequencialmente.

Caso sejam detectados, no decorrer do exame qualitativo, quaisquer sintomas de alterações neuropatológicas, deve ser efectuado um segundo exame a todas as regiões do sistema nervoso que apresentem tais alterações. Cortes seccionais provenientes de todos os grupos de dosagem de cada uma das regiões potencialmente afectadas devem ser codificados e examinados ao acaso, sem conhecimento do respectivo código. Devem ser registadas a frequência e gravidade de cada lesão detectada. Após a classificação de todas as regiões em todos os grupos de dosagem, o código pode ser revelado e pode ser efectuada a análise estatística de modo a avaliar as relações dose-efeito. Devem descrever-se exemplos para os diferentes graus de gravidade das várias lesões.

Os dados neuropatológicos devem ser avaliados no contexto das observações comportamentais e das medidas efectuadas, assim como de quaisquer outros dados provenientes de estudos de toxicidade sistémica da substância de ensaio efectuados anterior ou simultaneamente.

2. DADOS

2.1. TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Devem apresentar-se os dados individuais. Além disso, todos os dados devem ser resumidos em forma tabular, indicando, para cada grupo de ensaio ou de controlo, o número de animais no início do ensaio, o número de animais encontrados mortos durante o ensaio ou sacrificados a fim de evitar dor, o momento de todas as mortes (espontâneas ou provocadas), o número de animais apresentando sintomas de toxicidade, uma descrição dos sintomas de toxicidade observados (incluindo o momento do aparecimento, a duração, o tipo e a gravidade), o número de animais que apresentam lesões, incluindo o tipo e a gravidade de tais lesões.

2.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados do estudo devem ser avaliados em termos da incidência, gravidade e correlação entre os efeitos observados aos níveis neurocomportamental e neuropatológico (assim como os efeitos neuroquímicos e electrofisiológicos, caso sejam efectuados quaisquer exames complementares) e quaisquer outros efeitos adversos observados. Sempre que possível, os resultados numéricos devem ser avaliados através de um método estatístico adequado e de utilização comum. Os métodos estatísticos devem ser determinados durante o planeamento do estudo.

3. RELATÓRIO

RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deverá incluir as seguintes informações:

Substância de ensaio:

- natureza física (incluindo isómeros, pureza e propriedades físico-químicas);
- dados de identificação.

Excipiente (se apropriado):

- justificação para escolha do excipiente.

Animais de ensaio:

- espécie/estirpe usada;
- número, idade e sexo dos animais;
- proveniência, condições de alojamento, aclimatização, dieta, etc.;
- peso individual dos animais no início do ensaio.

Condições do ensaio:

- informação pormenorizada sobre a formulação da substância de ensaio/preparação da dieta, concentração atingida, estabilidade e homogeneidade da preparação;
- especificação das doses administradas, incluindo dados pormenorizados sobre o excipiente, volume e forma física do material administrado;

- informação pormenorizada sobre a administração da substância de ensaio;
- justificações para a escolha dos diferentes níveis de dosagem;
- justificações para a escolha da via de administração e a duração do ensaio;
- conversão da concentração da substância de ensaio na dieta/água de beber (ppm) para a dose real (mg/kg de peso corporal/dia), se aplicável;
- informação pormenorizada sobre a qualidade dos alimentos e da água.

Observações e procedimentos de ensaio:

- informação pormenorizada sobre a atribuição dos animais de cada grupo aos diferentes subgrupos de perfusão;
- informação pormenorizada sobre os sistemas de classificação, incluindo escalas de classificação e critérios para cada medida efectuada nas observações clínicas aprofundadas;
- informação pormenorizada sobre os ensaios funcionais da reacção sensorial aos estímulos de diferentes origens (por exemplo, auditivos, visuais e proprioceptivos); da avaliação da força de preensão dos membros e da actividade motora (incluindo informação pormenorizada sobre dispositivos automáticos de detecção de actividade); e de outros procedimentos efectuados;
- informação pormenorizada sobre os exames oftalmológicos e, caso seja adequado, análises clínicas (hemograma e química clínica) com valores relevantes de linha de base;
- informação pormenorizada sobre os procedimentos neurocomportamentais, neuropatológicos, neuroquímicos e electrofisiológicos específicos.

Resultados:

- peso corporal/alterações do peso corporal, incluindo o peso corporal na altura da morte;
- consumo de alimento e consumo de água, sempre que necessário;
- dados sobre a resposta à toxicidade para cada sexo e nível de dosagem, incluindo sintomas de toxicidade ou mortalidade;
- natureza, gravidade e duração (momento do aparecimento e desenvolvimento subsequente) dos efeitos detectados em observações clínicas aprofundadas (reversíveis ou não);
- descrição pormenorizada de todos os resultados dos ensaios funcionais;
- resultados da autópsia;
- descrição pormenorizada de todos os dados neurocomportamentais, neuropatológicos e neuroquímicos ou electrofisiológicos, caso estejam disponíveis;
- dados de absorção e metabolismo, caso estejam disponíveis;
- tratamento estatístico dos resultados, se apropriado.

Análise dos resultados:

- informação sobre a resposta à dosagem;
- relação entre quaisquer outros efeitos tóxicos de modo a tirar conclusões sobre o potencial neurotóxico da substância química de ensaio;

- nível sem efeito adverso observável.

Conclusões:

- aconselha-se a inclusão de uma declaração específica sobre a neurotoxicidade global da substância química de ensaio.

4. **REFERÊNCIAS**

- (1) OECD Guidance Document on Neurotoxicity Testing Strategies and Test Methods. OECD, Paris (em preparação).
- (2) Test Guideline for a Developmental Neurotoxicity Study, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals (em Teratology).
- (3) World Health Organisation (WHO) (1986) Environmental Health Criteria document 60: Principles and Methods for the Assessment of Neurotoxicity associated with Exposure to Chemicals.
- (4) Spencer, P.S. and Schaumburg, H.H., (1980) Experimental and Clinical Neurotoxicology. Eds. Spencer, P.S. and Schaumburg, H.H. eds. Williams and Wilkins, Baltimore/London.
- (5) Tupper, D.E. and Wallace, R.B., (1980) Utility of the Neurological Examination in Rats. *Acta Neurobiol. Exp.*, 40, p. 999-1003.
- (6) Gad, S.C., (1982) A Neuromuscular Screen for Use in Industrial Toxicology. *J. Toxicol. Environ. Health*, 9, p. 691-704.
- (7) Moser, V.C., McDaniel, K.M. and Phillips, P.M., (1991) Rat Strain and Stock Comparisons Using a Functional Observational Battery: Baseline Values and Effects of amitraz. *Toxic. Appl. Pharmacol.*, 108, p. 267-283.
- (8) Meyer, O.A., Tilson, H.A., Byrd, W.C. and Riley, M.T., (1979) A Method for the Routine Assessment of Fore- and Hind- limb Grip Strength of Rats and Mice. *Neurobehav. Toxicol.*, 1, p. 233-236.
- (9) Crofton, K.M., Haward, J.L., Moser, V.C., Gill, M.W., Reirer, L.W., Tilson, H.A. and MacPhail, R.C., (1991) Interlaboratory Comparison of Motor Activity Experiments: Implication for Neurotoxicological Assessments. *Neurotoxicol. Teratol.*, 13, p. 599-609.
- (10) Tilson, H.A., and Mitchell, C.L. eds., (1992) Neurotoxicology Target Organ Toxicology Series. Raven Press, New York.
- (11) Chang, L.W., ed., (1995) Principles of Neurotoxicology. Marcel Dekker, New York.
- (12) Broxup, B., (1991) Neuropathology as a screen for Neurotoxicity Assessment. *J. Amer. Coll. Toxicol.*, 10, p. 689-695.
- (13) Moser, V.C., Anthony, D.C., Sette, W.F. and MacPhail, R.C., (1992) Comparison of Subchronic Neurotoxicity of 2-Hydroxyethyl Acrylate and Acrylamide in Rats. *Fund. Appl. Toxicol.*, 18, p. 343-352.
- (14) O'Callaghan, J.P., (1988) Neurotypic and Gliotypic Proteins as Biochemical Markers of Neurotoxicity. *Neurotoxicol. Teratol.*, 10, p. 445-452.
- (15) O'Callaghan J.P. and Miller, D.B., (1988) Acute Exposure of the Neonatal Rat to Triethyltin Results in Persistent Changes in Neurotypic and Gliotypic Proteins. *J. Pharmacol. Exp. Ther.*, 244, p. 368-378.

-
- (16) Fox, D.A., Lowndes, H.E. and Birkamper, G.G., (1982) Electrophysiological Techniques in Neurotoxicology. In: Nervous System Toxicology. Mitchell, C.L. ed. Raven Press, New York, p. 299-335.
- (17) Johnson, B.L., (1980) Electrophysiological Methods in neurotoxicity Testing. In: Experimental and Clinical Neurotoxicology. Spencer, P.S. and Schaumburg, H.H. eds., Williams and Wilkins Co., Baltimore/London, p. 726-742.
- (18) Bancroft, J.D. and Steven A., (1990) Theory and Practice of Histological Techniques. Chapter 17, Neuropathological Techniques. Lowe, James and Cox, Gordon eds. Churchill Livingstone.

Tabela 1

Número mínimo de animais necessários, em cada grupo, para se realizar o ensaio de neurotoxicidade de forma independente ou em conjunto com outros estudos

	MODO DE REALIZAÇÃO DO ESTUDO DE TOXICIDADE			
	Estudo independente	Em combinação com o estudo de 28 dias	Em combinação com o estudo de 90 dias	Em combinação com o estudo de toxicidade crónica
Número total de animais por grupo	10 machos e 10 fêmeas	10 machos e 10 fêmeas	15 machos e 15 fêmeas	25 machos e 25 fêmeas
Número de animais escolhidos para ensaios funcionais, incluindo observações clínicas pormenorizadas	10 machos e 10 fêmeas	10 machos e 10 fêmeas	10 machos e 10 fêmeas	10 machos e 10 fêmeas
Número de animais escolhidos para perfusão <i>in situ</i> e neuro-histopatologia	5 machos e 5 fêmeas	5 machos e 5 fêmeas	5 machos e 5 fêmeas	5 machos e 5 fêmeas
Número de animais escolhidos para observações de toxicidade crónica, subcrónica ou relativa à dose, análises clínicas (hemograma, química clínica), histopatologia, etc., tal como descrito nas respectivas <i>Orientações</i>		5 machos e 5 fêmeas	10 machos † e 10 fêmeas †	20 machos † e 20 fêmeas †
Observações complementares, se apropriado	5 machos e 5 fêmeas			

† Inclui cinco animais escolhidos para ensaios funcionais e observações clínicas pormenorizadas como parte integrante do estudo de neurotoxicidade.

Tabela 2

Frequência das observações clínicas e dos ensaios funcionais

Tipo de observações		Duração do estudo			
		Aguda	28 dias	90 dias	Crónica
Em todos os animais	Estado geral de saúde	diária	diária	diária	diária
	Mortalidade/morbilidade	duas vezes ao dia	duas vezes ao dia	duas vezes ao dia	duas vezes ao dia
Nos animais escolhidos para as observações funcionais	Observações clínicas pormenorizadas	— antes do início do estudo — após 8 horas da administração da dose, no momento em que se espera uma resposta máxima — nos dias 7 e 14 após a administração da dose	— antes do início do estudo — uma vez por semana, daí em diante	— antes do início do estudo — uma vez, durante a primeira ou segunda semana, após o início do ensaio — uma vez por mês, daí em diante	— antes do início do estudo — uma vez decorrido um mês após o início do ensaio — de três em três meses, daí em diante
	Ensaio funcionais	— antes do início do estudo — após 8 horas da administração da dose, no momento em que se espera uma resposta máxima — nos dias 7 e 14 após a administração da dose	— antes do início do estudo — durante a quarta semana de tratamento e tão próximo quanto possível do final do período de ensaio	— antes do início do estudo — uma vez, durante a primeira ou segunda semana, após o início do ensaio — uma vez por mês, daí em diante	— antes do início do estudo — uma vez decorrido um mês após o início do ensaio — de três em três meses, daí em diante

B.44. ABSORÇÃO CUTÂNEA: MÉTODO *IN VIVO*

1. MÉTODO

O presente método de ensaio é equivalente ao método OECD TG 427 (2004).

1.1. INTRODUÇÃO

Embora a exposição a numerosas substâncias químicas envolva sobretudo a pele, na maior parte dos estudos toxicológicos em animais de laboratório é utilizada a via de administração oral. O estudo de absorção percutânea *in vivo* a que se refere o presente método constitui o elo necessário para a extrapolação dos resultados de estudos orais para a avaliação da inocuidade em caso de exposição cutânea.

Para atingir a corrente sanguínea, uma substância tem que atravessar numerosas camadas celulares da pele. A camada limitante da velocidade de penetração é o estrato córneo, constituído por células mortas. A permeabilidade da pele depende da lipofilia da substância química e da espessura da camada externa da epiderme, e ainda de outros factores, como o peso molecular e a concentração da substância. A pele dos ratos e dos coelhos é, em geral, mais permeável do que a do homem, ao passo que a permeabilidade da pele das cobaias e dos macacos se assemelha mais à da pele humana.

Os métodos de medição da absorção percutânea podem ser divididos em duas categorias: *in vivo* e *in vitro*. O método *in vivo* permite obter informações fiáveis sobre a absorção cutânea em várias espécies de laboratório. Mais recentemente foram desenvolvidos métodos *in vitro* baseados no transporte através de pele total ou de pele de clivagem, humana ou de animais, para um reservatório de fluido. O método *in vitro* encontra-se descrito num método de ensaio distinto (1). Na escolha do método mais apropriado para determinada situação recomenda-se a consulta do documento de orientação da OCDE para a realização de ensaios de absorção cutânea (2), no qual é tratada em mais pormenor a utilidade dos métodos *in vivo* e *in vitro*.

O método *in vivo* aqui descrito permite determinar a penetração da substância ensaiada no compartimento sistémico através da pele. A técnica tem sido amplamente utilizada desde há muitos anos (3) (4) (5) (6) (7). Embora os estudos de absorção percutânea *in vitro* sejam muitas vezes adequados, pode haver situações em que só um estudo *in vivo* permitirá obter os dados necessários.

As vantagens do método *in vivo* são a utilização de um sistema fisiológica e metabolicamente intacto, o uso da mesma espécie em muitos estudos de toxicidade e a possibilidade de adaptação para utilização com outras espécies. As desvantagens são a utilização de animais vivos, a necessidade de marcadores radioactivos para facilitar a obtenção de resultados fiáveis, a dificuldade de determinação da fase inicial da absorção e as diferenças de permeabilidade cutânea entre a espécie mais utilizada (rato) e o homem. A pele dos animais é normalmente mais permeável, o que pode levar a sobrestimar a absorção percutânea no homem (6) (8) (9). As substâncias cáusticas ou corrosivas não devem ser ensaiadas em animais vivos.

1.2. DEFINIÇÕES

Dose não absorvida: a que é removida da superfície cutânea após a exposição, por lavagem, ou que esteja eventualmente presente na cobertura não oclusiva, incluindo a que eventualmente se demonstre ter-se volatilizado da pele durante a exposição.

Dose absorvida (*in vivo*): inclui a que está presente na urina, nos resíduos de lavagem das gaiolas, nas fezes, no ar expirado (se tiver sido determinada), no sangue, nos tecidos (caso se proceda à sua colheita) e no resto da carcaça, uma vez retirada a pele do local de aplicação.

Dose absorvível: a que permanece na pele, ou à superfície desta, após a lavagem.

1.3. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

A substância a ensaiar, de preferência marcada com um radioisótopo, é aplicada na pele tosquiada em dose(s) adequada(s) na forma de uma preparação representativa, tal como é normalmente utilizada. A preparação ensaiada é deixada em contacto com a pele durante um período determinado, coberta de forma adequada (não oclusiva, semioclusiva ou oclusiva) para evitar que seja ingerida. Terminado o tempo de exposição, a pele é descoberta e limpa com um agente de limpeza adequado, conservando-se para análise a cobertura e os materiais utilizados na limpeza e tornando a aplicar-se uma cobertura limpa. Antes, durante e após o período de exposição, os animais são alojados em gaiolas de metabolismo individuais, devendo as excreções e o ar expirado durante esse período ser recolhidos para análise. A recolha do ar expirado pode ser omitida se os

dados existentes permitirem concluir que a formação de metabolito radioactivo volátil é reduzida ou nula. Em cada estudo, vários grupos de animais serão normalmente expostos à preparação ensaiada. Um dos grupos será sacrificado no final do período de exposição. Os restantes grupos serão sacrificados posteriormente, a intervalos predeterminados (2). No final do período de amostragem, os animais restantes são sacrificados, procedendo-se à colheita de sangue e remoção do local de aplicação, para análise, e à pesquisa de material não excretado na carcaça. Após análise das amostras por meios adequados é feita a estimativa do grau de absorção cutânea (6) (8) (9).

1.4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

1.4.1. Escolha da espécie animal

O rato é a espécie mais utilizada, mas podem igualmente usar-se estirpes glabras e espécies com taxas de absorção cutânea mais semelhantes às do homem (3) (6) (7) (8) (9). Devem utilizar-se adultos saudáveis, todos do mesmo sexo (por defeito, machos), das estirpes correntemente utilizadas em laboratório. No início do estudo, a variação no peso dos animais não deve exceder $\pm 20\%$ do peso médio. Podem utilizar-se, por exemplo, ratos machos de 200 g a 250 g, sobretudo aqueles cujo peso se situe na metade superior deste intervalo.

1.4.2. Número e sexo dos animais

Deve utilizar-se um grupo de pelo menos quatro animais, todos do mesmo sexo, por cada preparação ensaiada e por cada um dos pontos terminais previstos. Cada grupo de animais será sacrificado após um intervalo diferente, por exemplo, no termo do período de exposição (geralmente, 6 ou 24 horas) e de subsequentes períodos equivalentes (48 e 72 horas, por exemplo). Caso existam dados comprovativos de diferenças substanciais entre machos e fêmeas, no que diz respeito à toxicidade cutânea, deve escolher-se o sexo mais sensível. Caso não existam tais dados, pode ser utilizado qualquer um dos sexos.

1.4.3. Condições de alojamento e alimentação

A temperatura do compartimento experimental dos animais deve ser de 22 °C (± 3 °C). A humidade relativa deverá ser de 50 %-60 %, embora sejam aceitáveis valores entre um mínimo de 30 % e um máximo que, preferivelmente, não deverá exceder 70 %, salvo durante os períodos de limpeza do compartimento. A iluminação deve ser artificial, com sequências de 12 horas de luz e 12 horas de escuridão. A alimentação, que deve ser fornecida sem restrições, pode basear-se em dietas de laboratório convencionais, com fornecimento ilimitado de água para beber. Durante o estudo e, de preferência, também durante a aclimação, os animais serão alojados em gaiolas de metabolismo individuais. Uma vez que o derrame de alimentos e água pode comprometer os resultados do estudo, é conveniente reduzir ao mínimo a probabilidade da sua ocorrência.

1.4.4. Preparação dos animais

Os animais são marcados de forma a poderem ser identificados individualmente e mantidos nas gaiolas pelo menos nos cinco dias anteriores ao início do estudo, para se aclimatarem às condições do laboratório.

Após o período de aclimação, e cerca de 24 horas antes da administração, os animais serão tosquiados na região dos ombros e do dorso. Uma vez que as propriedades de permeação da pele lesada e da pele intacta são diferentes, deve tomar-se cuidado para não lesar a pele. Após a tosquia, e cerca de 24 horas antes de aplicar a substância a ensaiar (ver ponto 1.4.7), a superfície da pele deve ser limpa com acetona, para retirar o sebo. Não é aconselhável lavar novamente com água e sabão, já que quaisquer resíduos de sabão poderão favorecer a absorção da substância ensaiada. A área deve ser suficiente para permitir uma estimativa fiável da quantidade de substância ensaiada que é absorvida por cm² de pele — de preferência, 10 cm², pelo menos, o que é praticável em ratos com peso vivo entre 200 e 250 g. Após a preparação, os animais voltam a ser colocados nas gaiolas de metabolismo.

1.4.5. Substância a ensaiar

A substância a ensaiar é a entidade de que se pretendem estudar as propriedades de penetração. De preferência, a substância a ensaiar deve ser marcada com um radioisótopo.

1.4.6. Preparação a ensaiar

A preparação com a substância a ensaiar (por exemplo, material puro, diluído ou formulado contendo a substância a ensaiar e que se aplica na pele) deve ser aquela a que poderão estar expostos o homem ou outras espécies potencialmente visadas, ou um substituinte realista da mesma. Qualquer mudança em relação à preparação tal como é utilizada deve ser justificada. Se for necessário, a substância a ensaiar pode ser dissolvida ou suspensa num excipiente apropriado. As características de absorção dos excipientes — excepto a água — e a sua eventual interacção com a substância ensaiada devem ser conhecidos.

1.4.7. Aplicação na pele

Definir na superfície da pele um local de aplicação com uma área determinada. Aplicar em seguida nesse local, uniformemente, uma quantidade conhecida da preparação a ensaiar. Normalmente, a quantidade aplicada deve simular a exposição humana potencial, geralmente 1-5 mg/cm² para os sólidos e 10 µl/cm² para os líquidos. A utilização de outras quantidades deve ser justificada com base nas condições de utilização previstas, nos objectivos do estudo ou nas características físicas da preparação a ensaiar. Após a aplicação, o sítio tratado deve ser protegido, de forma a impedir que o animal se limpe. A figura 1 mostra um exemplo de dispositivo típico. O local de aplicação é normalmente protegido por uma cobertura não oclusiva (gaze de nylon permeável, por exemplo). Contudo, para aplicações infinitas, a cobertura do local de aplicação deve ser oclusiva. Em caso de ensaio de substâncias semivoláteis é necessário, se a evaporação provocar uma diminuição inaceitável da taxa de recuperação da substância ensaiada (ver também o primeiro parágrafo do ponto 1.4.10), captar a substância evaporada num filtro de carvão que cubra o dispositivo de aplicação (ver figura 1). É importante que o dispositivo não danifique a pele, nem absorva a preparação ensaiada ou reaja com ela. Os animais são depois novamente colocados nas gaiolas de metabolismo individuais, para recolha das excreções.

1.4.8. Duração da exposição e da amostragem

A duração da exposição é o tempo que decorre entre a aplicação e a remoção da preparação ensaiada por lavagem da pele. O período de exposição utilizado (geralmente, 6 ou 24 horas) deve ser adequado à duração provável da exposição humana. Terminado o período de exposição, os animais são mantidos nas gaiolas de metabolismo até ao termo previsto do ensaio. Os animais devem ser observados regularmente durante toda a duração do estudo, para detecção de sinais de toxicidade ou de reacções anormais. No final do período de exposição, a pele tratada deve ser observada para detecção de sinais visíveis de irritação.

As gaiolas de metabolismo devem permitir a recolha individual da urina e das fezes durante todo o estudo. É também conveniente que possibilitem a recolha do dióxido de carbono e compostos voláteis marcados com ¹⁴C, que devem ser analisados caso sejam produzidos em quantidade (> 5 %). A urina, as fezes e os fluidos captados (dióxido de carbono e compostos de carbono voláteis marcados com ¹⁴C, por exemplo) devem ser recolhidos individualmente em cada grupo, aquando de cada amostragem. Se os dados existentes permitirem concluir que a formação de metabolito radioactivo é reduzida ou nula podem ser utilizadas gaiolas abertas.

As excreções são recolhidas durante o período de exposição, até 24 horas após o contacto inicial com a pele e, em seguida, diariamente até ao final da experiência. Embora três intervalos de recolha de excreções sejam normalmente suficientes, pode ser conveniente dispor de pontos experimentais mais adequados, ou mais numerosos, atendendo à finalidade a que se destina a preparação ensaiada ou aos dados cinéticos existentes.

No final do período de exposição, o dispositivo de protecção de cada animal é retirado e conservado separadamente, para análise. Em todos os animais, a pele tratada deve ser lavada pelo menos três vezes com um agente de limpeza, utilizando zaragatoas apropriadas. Deve ter-se cuidado para evitar contaminar outras partes do corpo. O agente de limpeza deve ser representativo das práticas usuais de higiene — uma solução aquosa de sabão, por exemplo. Por fim, a pele deve ser enxugada. Todas as zaragatoas e resíduos da lavagem devem ser conservados para análise. Nos animais dos grupos correspondentes aos pontos experimentais mais tardios, o sítio tratado deve, antes do regresso às gaiolas individuais, tornar a ser protegido com uma cobertura limpa.

1.4.9. Procedimentos finais

Em cada grupo, os animais devem ser sacrificados no momento previsto, procedendo-se à colheita de sangue para análise. A cobertura de protecção deve ser retirada para análise. A pele do local de aplicação, bem como uma área semelhante de pele tosquiada não tratada, devem ser removidas de cada animal para serem analisadas separadamente. A pele do local de aplicação pode ser clivada, para separar o estrato córneo da epiderme subjacente, a fim de se obterem mais informações sobre a distribuição da substância em estudo. A determinação da evolução desta distribuição ao longo do tempo, após o período de exposição, deveria dar alguma indicação quanto ao destino da substância química em estudo eventualmente presente no estrato córneo. Para facilitar a clivagem da pele (após a lavagem final da pele e o sacrifício do animal), a cobertura de protecção é removida. A pele do local de aplicação, incluindo a coroa circular circundante, é excisada do rato e fixada com alfinetes numa placa. Aplicar uma fita adesiva sobre a pele, pressionando suavemente, e retirar a fita adesiva, que trará consigo parte do estrato córneo. Repetir o processo com novas fitas adesivas até ao momento em que, uma vez removido inteiramente o estrato córneo, a fita deixa de aderir à pele. Todas as fitas adesivas utilizadas para cada animal podem ser depositadas no mesmo recipiente, adicionando-se-lhes em seguida um digestor de tecidos para solubilização do estrato córneo. Os tecidos-alvo potenciais podem ser removidos para medições separadas, antes da análise do resto da carcaça para determinação da dose absorvida na carcaça. As carcaças dos animais devem ser conservadas individualmente para análise. A análise do teor total será, normalmente, suficiente. Os órgãos-alvo podem ser retirados para serem analisados individualmente (se outros estudos assim o indicarem). A urina presente na bexiga aquando do sacrifício programado deve ser adicionada à urina recolhida anteriormente. Após a recolha das excreções presentes nas gaiolas de metabolismo no momento do sacrifício programado, as gaiolas e os sistemas de captação devem ser lavados com um solvente adequado. O restante equipamento potencialmente contaminado deve também ser analisado.

1.4.10. Análise

Em todos os estudos, deve obter-se uma taxa de recuperação adequada (a média a obter será de $100 \pm 10\%$ da radioactividade). Taxas de recuperação fora desse intervalo devem ser justificadas. A quantidade da dose administrada presente em cada amostra deve ser determinada por processos devidamente validados.

A análise estatística deve incluir a determinação da variância para as repetições de cada aplicação.

2. DADOS

Em relação a cada animal, e em cada amostragem para pesquisa da substância ensaiada ou dos seus metabolitos, devem ser feitas as seguintes determinações (além de serem apresentados individualmente, os dados devem também ser agrupados por tempos de amostragem e apresentados sob forma de médias):

- quantidade associada aos dispositivos de protecção,
- quantidade que pode ser retirada da pele,
- quantidade presente na pele que não pode ser removida por lavagem,
- quantidade presente no sangue colhido,
- quantidade presente nas excreções e no ar expirado (se for caso disso),
- quantidade restante na carcaça e em órgãos eventualmente retirados para serem analisados separadamente.

Com base na quantidade de substância ensaiada e/ou dos seus metabolitos nas excreções, no ar expirado, no sangue e na carcaça poder-se-á determinar a quantidade total absorvida em cada um dos pontos experimentais. Pode também ser calculada a quantidade de substância ensaiada que foi absorvida por cm^2 de pele exposta, ao longo do período de exposição.

3. RELATÓRIOS**3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO**

O relatório do ensaio deve incluir os requisitos especificados no protocolo, nomeadamente a justificação da escolha do sistema experimental utilizado, devendo conter os seguintes elementos:

Substância ensaiada:

- dados relativos à identificação [número CAS, se existir; proveniência; pureza (pureza radioquímica); impurezas conhecidas; número do lote; etc.],
- natureza física, propriedades físico-químicas (por exemplo, pH, volatilidade, solubilidade, estabilidade, peso molecular e $\log P_{\text{oa}}$).

Preparação ensaiada:

- formulação e justificação da utilização,
- informações sobre a preparação ensaiada, quantidade aplicada, concentração atingida, excipiente, estabilidade e homogeneidade.

Animais experimentais:

- espécie/estirpe usada;

- número, idade e sexo dos animais;
- proveniência, condições de alojamento, dieta, etc.,
- peso de cada animal no início do ensaio.

Condições experimentais:

- informações relativas à administração da preparação ensaiada (local de aplicação, métodos de determinação, oclusão ou não, volume, extracção, detecção),
- informações sobre a qualidade dos alimentos e da água.

Resultados:

- quaisquer sinais de toxicidade,
- quadro dos valores de absorção (expressos em taxa, quantidade ou percentagem),
- taxas de recuperação globais do ensaio,
- interpretação dos resultados, comparação com dados eventualmente existentes sobre a absorção percutânea do composto ensaiado.

Discussão dos resultados.

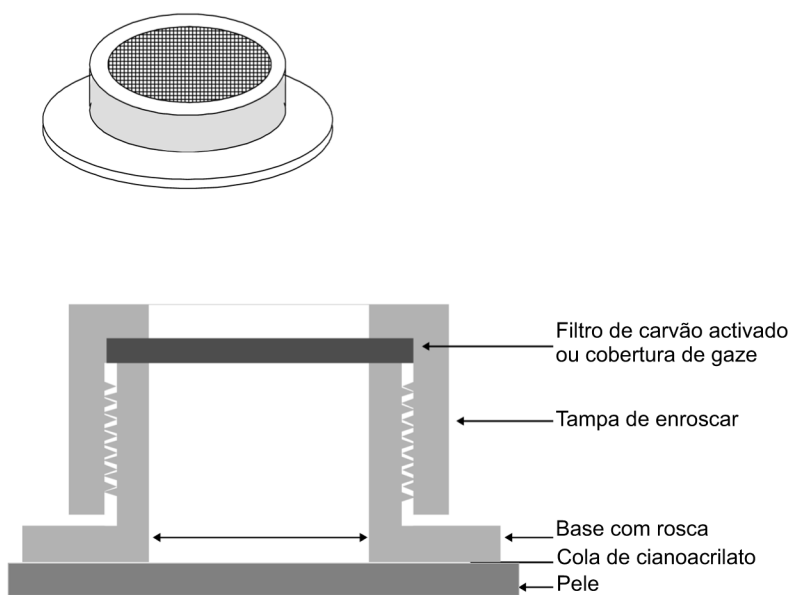
Conclusões.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Método de ensaio B.45. Absorção cutânea: método *in vitro*.
- (2) OECD (2002). Guidance Document for the Conduct of Skin Absorption Studies. OECD, Paris.
- (3) ECETOC, (1993) Percutaneous Absorption. European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals, Monograph No 20.
- (4) Zendzian, R.P., (1989) Skin Penetration Method suggested for Environmental Protection Agency Requirements. *J. Am. Coll. Toxicol.* 8(5), p. 829-835.
- (5) Kemppainen, B.W., Reifernath WG (1990) Methods for skin absorption. CRC Press Boca Raton, FL, USA.
- (6) EPA, (1992) Dermal Exposure Assessment: Principles and Applications. Exposure Assessment Group, Office of Health and Environmental Assessment.
- (7) EPA, (1998) Health Effects Test Guidelines, OPPTS 870-7600, Dermal Penetration. Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances.
- (8) Bronaugh, R.L., Wester, R.C., Bucks, D., Maibach H.I. and Sarason, R., (1990) *In vivo* percutaneous absorption of fragrance ingredients in rhesus monkeys and humans. *Fd. Chem. Toxic.* 28, p. 369-373.
- (9) Feldman, R.J. and Maibach, H.I., (1970) Absorption of some organic compounds through the skin in man. *J. Invest Dermatol.* 54, p. 399-404.

Figura 1

Exemplo de esquema de dispositivo tipicamente utilizado para definir e proteger o local de aplicação cutânea nos estudos de absorção percutânea *in vivo*



B.45. ABSORÇÃO CUTÂNEA: MÉTODO *IN VITRO*

1. MÉTODO

O presente método de ensaio é equivalente ao método OECD TG 428 (2004).

1.1. INTRODUÇÃO

O presente método foi concebido para a obtenção de informações sobre a absorção de uma substância a ensaiar quando aplicada em pele excisada; pode ser combinado com o «Método de absorção cutânea: método *in vivo*» (1) ou utilizado separadamente. No delineamento de estudos baseados no presente método, recomenda-se a consulta do documento de orientação da OCDE para a realização de ensaios de absorção cutânea (2). O referido documento de orientação foi elaborado no intuito de facilitar a escolha de processos *in vitro* adequados para utilização em circunstâncias específicas, de forma a garantir a fiabilidade dos resultados obtidos pelo presente método.

Os métodos de medição da absorção cutânea e da transferência através da pele podem dividir-se em duas categorias: *in vivo* e *in vitro*. Os métodos de absorção cutânea *in vivo* estão já consagrados, permitindo obter dados farmacocinéticos em diversas espécies animais. Num método de ensaio distinto (1) é feita a descrição de um método *in vivo*. Os métodos *in vitro* são também utilizados há muitos anos para medir a absorção cutânea. Embora não tenham sido efectuados estudos de validação formal dos métodos *in vitro* abrangidos pelo presente método de ensaio, os peritos da OCDE acordaram em 1999 em que os dados avaliados existentes eram suficientes para apoiar o método *in vitro* (3). No documento de orientação (2) são fornecidos elementos comprovativos adicionais, incluindo diversas comparações directas de métodos *in vitro* e *in vivo*. O assunto foi também tratado em diversas monografias, que contêm informações básicas pormenorizadas sobre o uso de um método *in vitro* (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12). Os métodos *in vitro* medem a difusão de substâncias químicas para a pele e, através desta, para um reservatório de fluido, podendo ser utilizada pele não viável, apenas para medir a difusão, ou pele fresca, metabolicamente activa, para medir simultaneamente a difusão e o metabolismo cutâneo. Estes métodos revelaram-se muito úteis na triagem de diferentes formulações quanto à sua utilidade na transferência de substâncias químicas para a pele e através dela, podendo também constituir modelos úteis na avaliação da absorção percutânea no homem.

O método *in vitro* pode não ser aplicável em todas as situações e a todos os tipos de substâncias químicas. Por vezes pode utilizar-se o método de ensaio *in vitro* para uma avaliação qualitativa inicial da penetração cutânea. Em certos casos, poderá ser necessário completar esta avaliação com dados *in vivo*. Para mais pormenores sobre as situações em que a utilização do método *in vitro* poderá ser adequada, consultar o documento de orientação (2). A referência (3) contém informações pormenorizadas adicionais de apoio à decisão.

No presente método são apresentados os princípios gerais em que assenta a medição da absorção cutânea e subsequente transferência através da pele de uma substância a ensaiar, utilizando pele excisada. Pode ser utilizada pele de muitas espécies de mamíferos, incluindo o homem. As propriedades de permeabilidade da pele mantêm-se após a excisão, porque o principal obstáculo à difusão é o estrato córneo não viável, não tendo sido detectado o transporte percutâneo activo de substâncias químicas. Apesar de ter sido demonstrado que a pele é capaz de metabolizar algumas substâncias durante a absorção percutânea (6), trata-se de um processo que não é limitante em termos de dose efectivamente absorvida, embora possa afectar a natureza das substâncias introduzidas na corrente sanguínea.

1.2. DEFINIÇÕES

Dose não absorvida: a que é removida da superfície cutânea após a exposição, por lavagem, ou que esteja eventualmente presente na cobertura não oclusiva, incluindo a que eventualmente se demonstre ter-se volatilizado da pele durante a exposição.

Dose absorvida (*in vitro*): massa de substância a ensaiar que atinge o fluido receptor ou a circulação sistémica num período especificado.

Dose absorvível (*in vitro*): a que permanece na pele, ou à superfície desta, após a lavagem.

1.3. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

A substância a ensaiar, que pode ser marcada com um radioisótopo, é aplicada na superfície de uma amostra de pele que separa as duas câmaras de uma célula de difusão. A substância química permanece sobre a pele por um período e em condições especificados, antes de ser retirada por um processo de limpeza adequado. A intervalos determinados ao longo da experiência colhem-se amostras do fluido receptor, que são depois analisadas para detecção da substância a ensaiar e/ou dos seus metabolitos.

Caso se utilizem sistemas metabolicamente activos, os metabolitos da substância a ensaiar podem ser analisados por métodos adequados. No final da experiência quantifica-se, se for caso disso, a distribuição da substância a ensaiar e dos seus metabolitos.

Utilizando condições adequadas, descritas no presente método e no documento de orientação (2), a absorção durante determinado período da substância ensaiada é medida por análise do fluido receptor e da pele tratada. A substância ensaiada que permanece na pele deve ser considerada como absorvida, excepto se for possível demonstrar que a absorção pode ser determinada com base apenas nos valores relativos ao fluido receptor. A análise dos outros elementos (material removido da pele por lavagem, ou que permanece nas camadas da pele) permite uma avaliação complementar dos resultados, nomeadamente por determinação da distribuição total da substância ensaiada e da taxa de recuperação.

Os resultados obtidos com substâncias de referência pertinentes devem encontrar-se disponíveis e estar em conformidade com a bibliografia relativa ao método utilizado, a fim de demonstrar a eficiência e fiabilidade do sistema de ensaio no laboratório executante. Para o preenchimento desta condição pode ser efectuado concomitantemente o ensaio de uma substância de referência adequada (de preferência, com uma lipofilia próxima da da substância em ensaio) e da substância a ensaiar, ou ser fornecidos dados anteriores adequados para várias substâncias de referência de lipofilias diferentes (por exemplo, cafeína, ácido benzóico e testosterona).

1.4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.4.1. Célula de difusão

Uma célula de difusão é constituída por uma câmara dadora e uma câmara receptora, estando a pele colocada entre as duas câmaras (na figura 1 apresenta-se um exemplo de esquema típico deste dispositivo). A célula deve garantir uma boa vedação em torno da pele e permitir uma amostragem fácil e uma mistura eficaz da solução receptora em contacto com a face interna da pele, e um bom controlo da temperatura da célula e do seu conteúdo. Podem ser utilizadas células de difusão estáticas ou de fluxo. Normalmente, o compartimento dador é deixado descoberto durante a exposição a uma dose finita da preparação a ensaiar. Contudo, para aplicações infinitas e em certos casos de aplicações finitas, as câmaras dadoras podem ser fechadas.

1.4.2. Fluido receptor

É preferível a utilização de um fluido receptor fisiologicamente compatível, embora possam também utilizar-se outros, desde que a sua utilização seja fundamentada. Deve ser dada a composição exacta do fluido receptor. Deve ser demonstrada a solubilidade adequada da substância a ensaiar no fluido receptor, de forma a que este não constitua um obstáculo à absorção. Além disso, o fluido receptor não deve afectar a integridade da preparação de pele. Num sistema de fluxo, o débito não deve dificultar a difusão da substância a ensaiar no fluido receptor. Num sistema de célula estática, o fluido deve ser agitado continuamente, devendo colher-se amostras a intervalos regulares. Caso esteja a ser estudado o metabolismo, o fluido receptor deve permitir manter a viabilidade da pele durante toda a experiência.

1.4.3. Preparações de pele

Pode ser utilizada pele de origem humana ou animal. Reconhece-se que a utilização de pele humana está sujeita a considerações e condições éticas nacionais e internacionais. Embora seja preferível pele viável, pode ser também utilizada pele não viável, desde que a sua integridade possa ser demonstrada. Podem utilizar-se membranas epidérmicas (separadas por métodos enzimáticos, térmicos ou químicos) ou pele de clivagem (geralmente com 200-400 µm de espessura) preparada com um dermatomo. Pode ser utilizada pele total, mas deve evitar-se uma espessura excessiva (superior a cerca de 1 mm), excepto quando seja especificamente exigida para a determinação da substância a ensaiar nas camadas da pele. A escolha da espécie, do local anatómico e da técnica de preparação deve ser justificada. Exigem-se dados aceitáveis de um mínimo de quatro repetições por preparação ensaiada.

1.4.4. Integridade da preparação de pele

É essencial que a pele seja convenientemente preparada. Um manuseio incorrecto pode danificar o estrato córneo, sendo necessário, por conseguinte, verificar a integridade da pele depois de preparada. Caso esteja em estudo o metabolismo cutâneo, a pele recém-excisada deve ser utilizada o mais depressa possível, em condições que permitam comprovadamente manter a actividade metabólica. A título de orientação, a pele recém-excisada deve em geral ser utilizada no prazo de 24 horas, embora o período de armazenagem aceitável varie em função do sistema enzimático que intervém na metabolização e das temperaturas de armazenagem (13). Caso as preparações de pele tenham estado armazenadas antes de serem utilizadas, deverão apresentar-se provas de que a função de barreira se mantém.

1.4.5. Substância a ensaiar

A substância a ensaiar é a entidade de que se pretendem estudar as propriedades de penetração. De preferência, a substância a ensaiar deve ser marcada com um radioisótopo.

1.4.6. Preparação a ensaiar

A preparação com a substância a ensaiar (por exemplo, material puro, diluído ou formulado contendo a substância a ensaiar e que se aplica na pele) deve ser aquela a que poderão estar expostos o homem ou outras espécies potencialmente visadas, ou um substituinte realista da mesma. Qualquer mudança relativamente à preparação tal como é utilizada deve ser justificada.

1.4.7. **Concentrações e formulações das substâncias a ensaiar**

Utilizam-se normalmente várias concentrações da substância a ensaiar, de forma a cobrir os valores mais elevados de exposição humana potencial. Da mesma maneira, deve ser considerado o ensaio de várias formulações típicas.

1.4.8. **Aplicação na pele**

Em condições normais, o homem é exposto a doses finitas de substâncias químicas. Deve utilizar-se, por conseguinte, uma aplicação que simule as condições de exposição do homem, ou seja, normalmente, de 1-5 mg/cm² de pele para os sólidos e de até 10 µl/cm² para os líquidos. A quantidade deve ser justificada com base nas condições de utilização previstas, nos objectivos do estudo ou nas características da preparação a ensaiar. Por exemplo, com a aplicação de grandes volumes por unidade de superfície as aplicações à superfície da pele podem ser infinitas.

1.4.9. **Temperatura**

A temperatura afecta a difusão passiva das substâncias químicas — e também, por conseguinte, a sua absorção pela pele. A câmara de difusão e a pele devem ser mantidas a temperatura constante, próxima da temperatura normal da pele, de 32 +/-1°C. A temperatura do banho-maria ou da manta de aquecimento que é necessária para manter o fluido receptor e a pele à temperatura fisiológica dependerá da concepção da célula. A humidade deve, de preferência, ser mantida entre 30 % e 70 %.

1.4.10. **Duração da exposição e da amostragem**

A exposição da pele à preparação a ensaiar pode manter-se durante todo o ensaio ou limitar-se a períodos mais curtos (para simular um tipo específico de exposição do homem). A lavagem da pele para remover o excesso de preparação a ensaiar deve ser feita com um agente de limpeza adequado, recolhendo-se o líquido de lavagem para análise. A forma de retirar a preparação a ensaiar dependerá das condições de utilização previstas, e deve ser justificada. O período de amostragem exigido é normalmente de 24 h, período que permite caracterizar convenientemente o perfil de absorção. Uma vez que a integridade da pele pode começar a deteriorar-se uma vez excedidas 24 horas, a colheita de amostras não deve normalmente prolongar-se para além deste prazo. Para substâncias de rápida penetração cutânea, esse período pode não ser necessário, mas para substâncias de penetração lenta podem ser necessários períodos mais longos. A frequência de amostragem do fluido receptor deve permitir a representação gráfica do perfil de absorção da substância a ensaiar.

1.4.11. **Procedimentos finais**

Todos os componentes do sistema de ensaio devem ser analisados, devendo determinar-se a taxa de recuperação. Os componentes incluem a câmara dadora, o líquido de lavagem superficial da pele, a preparação de pele, o fluido receptor e a respectiva câmara. Nalguns casos, a pele pode ser fraccionada em pele com a superfície exposta e pele sob a flange da célula, e em estrato córneo, epiderme e derme, analisando-se cada fracção separadamente.

1.4.12. **Análise**

Em todos os estudos, deve obter-se uma taxa de recuperação adequada (a média a obter será de 100 +/- 10 % da radioactividade, devendo os eventuais desvios ser justificados). A quantidade de substância a ensaiar presente no fluido receptor, na preparação de pele, no líquido de lavagem superficial da pele e no líquido de lavagem do aparelho deve ser determinada por método adequado.

2. **RESULTADOS**

Deve apresentar-se a análise do fluido receptor, a distribuição da substância química ensaiada no sistema de ensaio e a evolução da absorção ao longo do tempo. Caso sejam utilizadas condições de exposição a uma dose finita, deve ser calculada a quantidade removida da pele por lavagem, a quantidade associada à pele (e às suas diferentes camadas, caso sejam analisadas) e a quantidade presente no fluido receptor (taxa, e quantidade ou percentagem da dose aplicada). A absorção cutânea pode por vezes ser expressa utilizando apenas os dados do fluido receptor. Contudo, caso a substância ensaiada permaneça na pele no final do ensaio, pode ser necessário incluí-la na quantidade total absorvida [ver ponto 66 da referência (3)]. Quando se utilizem condições de exposição a uma dose infinita os dados podem permitir o cálculo de uma constante de permeabilidade (Kp). Nestas últimas condições, a percentagem absorvida é irrelevante.

3. RELATÓRIOS

3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deve incluir os requisitos especificados no protocolo, nomeadamente a justificação da escolha do sistema de ensaio utilizado, devendo conter os seguintes elementos:

Substância a ensaiar:

- natureza física, propriedades físico-químicas (pelo menos, peso molecular e $\log P_{oa}$), pureza (pureza radioquímica),
- dados relativos à identificação (por exemplo, número do lote),
- solubilidade no fluido receptor.

Preparação a ensaiar:

- formulação e justificação da utilização,
- homogeneidade.

Condições do ensaio:

- origem e local de proveniência da pele, método de preparação, condições de armazenagem antes da utilização, eventuais pré-tratamentos (limpeza, tratamentos antibióticos, etc.), medições da integridade da pele, estado metabólico, justificação da utilização,
- concepção da célula, composição do fluido receptor, débito do fluido receptor ou intervalos e processos de amostragem,
- informações pormenorizadas quanto à aplicação da preparação a ensaiar e à quantificação da dose aplicada,
- duração da exposição,
- informações sobre a remoção da preparação a ensaiar da pele, por exemplo, por lavagem,
- informações sobre a análise da pele e as técnicas de clivagem eventualmente utilizadas na demonstração da distribuição cutânea,
- processos de lavagem da célula e do equipamento,
- métodos de determinação analítica, técnicas de extracção, limites de detecção e validação do método analítico.

Resultados:

- taxas de recuperação globais do ensaio (Dose aplicada = Líquido de lavagem da pele + Pele + Fluido receptor + Líquido de lavagem da célula),
- quadro das taxas de recuperação em cada compartimento da célula,
- perfil de absorção,
- quadro dos valores de absorção (expressos em taxa, quantidade ou percentagem).

Discussão dos resultados.

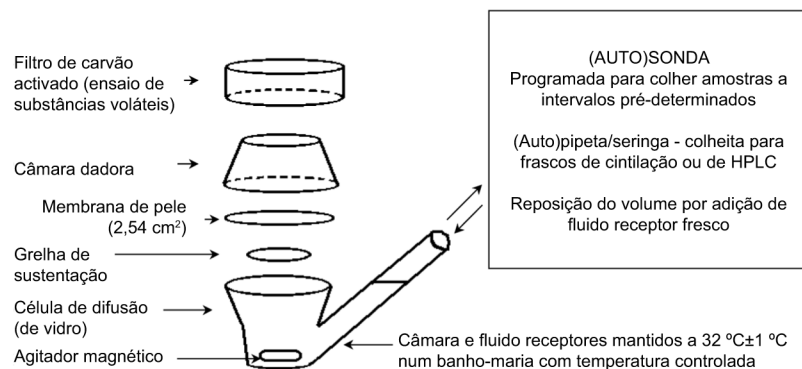
Conclusões.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Método de ensaio B.44. Absorção cutânea: Método *in vivo*.
- (2) OECD, (2002) Guidance Document for the Conduct of Skin Absorption Studies. OECD, Paris.
- (3) OECD, (2000) Report of the Meeting of the OECD Extended Steering Committee for Percutaneous Absorption Testing, Annex 1 to ENV/JM/TG(2000)5. OECD, Paris.
- (4) Kemppainen B.W. and Reifenrath W.G., (1990) Methods for skin absorption. CRC Press, Boca Raton.
- (5) Bronaugh R.L. and Collier, S.W., (1991) Protocol for *In vitro* Percutaneous Absorption Studies, in *In vitro Percutaneous Absorption: Principles, Fundamentals and Applications*, RL Bronaugh and HI Maibach, Eds., CRC Press, Boca Raton, p. 237-241.
- (6) Bronaugh, R.L. and Maibach H.I., (1991) *In vitro Percutaneous Absorption: Principles, Fundamentals and Applications*. CRC Press, Boca Raton.
- (7) European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals, (1993) Monograph No 20, Percutaneous Absorption, ECETOC, Brussels.
- (8) Diembeck, W., Beck, H., Benech-Kieffer, F., Courtellemont, P., Dupuis J, Lovell W, Paye M, Spengler J, Steiling W (1999). Test Guidelines for *In Vitro* Assessment of Dermal Absorption and Percutaneous Penetration of Cosmetic Ingredients, *Fd Chem Tox*, 37, p. 191-205.
- (9) Recommended Protocol for *In vitro* Percutaneous Absorption Rate Studies (1996). US Federal Register, Vol. 61, No 65.
- (10) Howes, D., Guy, R., Hadgraft, J., Heylings, J.R. et al. (1996). Methods for assessing Percutaneous absorption. ECVAM Workshop Report ATLA 24, 81 R10.
- (11) Schaefer, H. and Redelmeier, T.E., (1996). Skin barrier: principles of percutaneous absorption. Karger, Basel.
- (12) Roberts, M.S. and Walters, K.A., (1998). Dermal absorption and toxicity assessment. Marcel Dekker, New York.
- (13) Jewell, C., Heylings, J.R., Clowes, H.M. and Williams, F.M. (2000). Percutaneous absorption and metabolism of dinitrochlorobenzene *in vitro*. *Arch Toxicol* 74, p. 356-365.

Figura 1

Exemplo de esquema típico de uma célula de difusão estática para estudos de absorção percutânea *in vitro*



PARTE C: MÉTODOS PARA A DETERMINAÇÃO DA ECOTOXICIDADE

ÍNDICE

C.1.	TOXICIDADE AGUDA PARA OS PEIXES	446
C.2.	ENSAIO DE IMOBILIZAÇÃO AGUDA DA <i>DAPHNIA</i> SP.	456
C.3.	TESTE DE INIBIÇÃO PARA ALGAS	464
C.4.	DETERMINAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE «FÁCIL»	473
PARTE I.	CONSIDERAÇÕES GERAIS	473
PARTE II.	ENSAIO DA REDUÇÃO GRADUAL DO COD (método C.4-A)	480
PARTE III.	TESTE DE DESPISTE DA OCDE MODIFICADO (método C.4-B)	484
PARTE IV.	ENSAIO DA LIBERTAÇÃO DE CO ₂ (método C.4-C)	488
PARTE V.	ENSAIO DE RESPIROMETRIA MANOMÉTRICA (método C.4-D)	493
PARTE VI.	ENSAIO EM FRASCO FECHADO (método C.4-E)	497
PARTE VII.	ENSAIO DE M.I.T.I. (método C.4-F)	502
C.5	DEGRADAÇÃO — CARÊNCIA BIOQUÍMICA DE OXIGÉNIO	514
C.6.	DEGRADAÇÃO — CARÊNCIA QUÍMICA DE OXIGÉNIO	516
C.7.	DEGRADAÇÃO — DEGRADAÇÃO ABIÓTICA: HIDRÓLISE EM FUNÇÃO DO PH	518
C.8.	TOXICIDADE EM RELAÇÃO ÀS MINHOCAS	533
C.9.	BIODEGRADAÇÃO — ENSAIO DE ZAHN E WELLENS	538
C.10.	BIODEGRADAÇÃO — ENSAIOS DE SIMULAÇÃO DE LAMAS ACTIVADAS	545
C.11.	BIODEGRADAÇÃO — LAMAS ACTIVADAS: ENSAIOS DE INIBIÇÃO DA RESPIRAÇÃO	559
C.12.	BIODEGRADAÇÃO — ENSAIO L.A.S.C. MODIFICADO	564
C.13.	BIOCONCENTRAÇÃO: ENSAIO DINÂMICO COM PEIXE	571
C.14.	ENSAIO DE CRESCIMENTO JUVENIL EM PEIXE	590
C.15.	ENSAIO DE TOXICIDADE DE CURTO PRAZO NOS PEIXES EM ESTÁDIO EMBRIONÁRIO E RECÉM-NASCIDOS	603
C.16.	ABELHAS DOMÉSTICAS — ENSAIO DE TOXICIDADE ORAL AGUDA	618
C.17.	ABELHAS DOMÉSTICAS — ENSAIO DE TOXICIDADE AGUDA POR CONTACTO	623
C.18.	ADSORÇÃO/DESORÇÃO POR RECURSO A UM MÉTODO DE EQUILÍBRIO POR LOTES DE SOLO	627
C.19.	ESTIMATIVA DO VALOR DO COEFICIENTE DE ADSORÇÃO (K_{OC}) EM SOLOS E EM LAMAS DE DEPURACÃO POR CROMATOGRAPHIA LÍQUIDA DE ALTA EFICIÊNCIA (HPLC)	666

C.20.	ENSAIO SOBRE A REPRODUÇÃO DA <i>DAPHNIA MAGNA</i>	674
C.21.	MICROORGANISMOS NO SOLO: ENSAIO DE TRANSFORMAÇÃO DE AZOTO	693
C.22.	MICROORGANISMOS NO SOLO: ENSAIO DE TRANSFORMAÇÃO DE CARBONO	701
C.23.	TRANSFORMAÇÕES AERÓBIAS E ANAERÓBIAS NO SOLO	709
C.24.	TRANSFORMAÇÕES AERÓBIAS E ANAERÓBIAS EM SISTEMAS DE SEDIMENTOS AQUÁTICOS	724

C.1. TOXICIDADE AGUDA PARA OS PEIXES**1. MÉTODO****1.1. INTRODUÇÃO**

O objectivo deste ensaio consiste em determinar a toxicidade letal aguda de uma substância para os peixes de água-doce. Tanto quanto possível é desejável possuir informações sobre a solubilidade na água, a pressão de vapor, a estabilidade química, as constantes de dissociação e a biodegradabilidade da substância para auxiliar a seleccionar o método de ensaio mais apropriado (estático, semiestático ou por escoamento) para garantir concentrações constantes satisfatórias da substância de ensaio durante o período desse ensaio.

Ao fazer-se o planeamento do ensaio e a interpretação dos resultados devem tomar-se em consideração as informações adicionais disponíveis (por exemplo, fórmula estrutural, grau de pureza, natureza e percentagem das impurezas significativas, presença e quantidades de aditivos, coeficiente de partição n-octanol/água).

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

A toxicidade aguda é o efeito adverso perceptível induzido num organismo ao fim de um curto período de tempo (alguns dias) de exposição a uma substância. Neste ensaio, exprime-se a toxicidade aguda pelo valor da concentração letal cinquenta (CL_{50}), isto é, a concentração em água que mata 50 % dos peixes que constituem o grupo submetido a ensaio decorrido um período contínuo de exposição o qual deve ser especificado.

Todas as concentrações da substância de ensaio são dadas em peso por volume (miligramas por litro). As concentrações também podem ser expressas em peso por peso (mg/kg^{-1}).

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Pode fazer-se o ensaio com uma substância de referência para se demonstrar que, sob as condições de ensaio laboratoriais, a resposta das espécies testadas não se modificou significativamente.

Para este ensaio não estão especificadas quaisquer substâncias de referência.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Pode efectuar-se um teste-limite para a concentração de 100 mg por litro no sentido de se demonstrar que o valor CL_{50} é superior a esta concentração.

Os peixes são expostos à substância de ensaio misturada com água, num determinado intervalo de concentrações, durante um período de 96 horas. Procede-se ao registo do número de mortes em intervalos de 24 horas pelo menos e calcula-se, sempre que possível, as concentrações que matam 50 % dos peixes (CL_{50}) em cada momento de observação.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

Os critérios de qualidade deverão ser aplicados ao teste-limite e também no método do teste global.

A mortalidade nos controlos não deve exceder o valor de 10 % (ou um peixe no caso de se utilizar menos de dez peixes) no termo do ensaio.

A concentração do oxigénio dissolvido deve ser superior a 60 % do valor da saturação com ar.

A concentração da substância de ensaio deverá ser mantida a cerca de 80 % do valor da concentração inicial, ao longo do período de duração do ensaio.

Para as substâncias que se dissolvem facilmente no meio de ensaio, dando origem a soluções estáveis, isto é, para as substâncias que não são significativamente volatilizáveis, degradáveis, hidrolisáveis ou adsorvidas, pode considerar-se a concentração inicial como equivalente ao valor da concentração nominal. Dever-se-á demonstrar que as concentrações foram mantidas durante todo o ensaio e que os critérios de qualidade foram satisfeitos.

Para as substâncias que são:

- i) fracamente solúveis no meio de ensaio, ou
- ii) susceptíveis de formar emulsões ou dispersões estáveis, ou
- iii) instáveis em soluções aquosas,

pode considerar-se a concentração inicial como sendo a concentração medida na solução (ou, no caso de ser tecnicamente impossível, medida na coluna de água) no início do ensaio. A concentração deverá ser determinada após um período de equilíbrio, mas antes da introdução dos peixes de ensaio.

Em quaisquer desses casos é necessário efectuar outras medições durante o ensaio, para se confirmar que as concentrações da exposição e os critérios de qualidade foram respeitados.

O valor do pH não deverá variar mais de uma unidade.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

É possível utilizar três tipos de procedimentos:

Ensaio estático:

Trata-se de um ensaio de toxicidade em que não ocorre qualquer fluxo da solução de ensaio. (As soluções permanecem inalteradas durante o período do ensaio.)

Ensaio semiestático:

Trata-se de um ensaio sem fluxo da solução de ensaio, mas com renovação regular das soluções de ensaio após períodos prolongados (por exemplo, 24 horas).

Ensaio por escoamento:

Trata-se de um ensaio de toxicidade em que a água é renovada constantemente nas câmaras de ensaio, sendo a substância química de ensaio transportada com a água utilizada para renovar o meio de ensaio.

1.6.1. Reagentes

1.6.1.1. Soluções das substâncias de ensaio

As soluções de reserva com a concentração pretendida são preparadas dissolvendo a substância em água desionizada ou simplesmente em água, de acordo com o ponto 1.6.1.2.

As concentrações escolhidas para o ensaio são preparadas por diluição da solução de reserva. Se se realiza um ensaio com concentrações elevadas, a substância pode ser diluída directamente na água de diluição.

Normalmente as substâncias apenas deverão ser testadas até ao limite de solubilidade. Para algumas substâncias (por exemplo, substâncias que possuem fraca solubilidade em água, ou com um valor P_{ow} elevado, ou para aquelas que formam dispersões estáveis em vez de uma verdadeira solução em água), é aceitável efectuar a experiência com uma concentração superior ao limite de solubilidade da substância para garantir a obtenção da máxima concentração solúvel/estável. Todavia é importante que essa concentração não perturbe, por qualquer forma, o sistema de ensaio (por exemplo, formação de uma película da substância sobre a superfície da água evitando a sua oxigenação, etc.).

É possível recorrer à dispersão ultra-sónica, a solventes orgânicos, a emulsionantes ou a dispersantes para auxiliar a preparação das soluções de reserva de substâncias com fraca solubilidade na água ou para auxiliar a dispersão dessas substâncias no meio de ensaio. Quando se utilizam essas substâncias auxiliares todas as concentrações de ensaio deverão conter a mesma quantidade de substância auxiliar e dever-se-á expor os peixes de ensaio de controlo adicional a uma concentração da substância auxiliar idêntica à utilizada nas séries de ensaio. A concentração dessas substâncias auxiliares deverá ser mínima e em caso algum deve exceder 100 mg por litro de meio de ensaio.

O ensaio deve ser efectuado sem ajustamento do valor de pH. Se houver sinais evidentes de uma alteração nítida dos valores de pH, é aconselhável repetir o ensaio com ajustamento desses valores e efectuar-se o registo dos resultados. Nesse caso ajustar-se-á o valor do pH da solução de reserva para o valor de pH da água de diluição, salvo se houver razões específicas para não se proceder desse modo. Para satisfazer este objectivo é preferível utilizar HCl e NaOH. Este ajustamento do valor do pH deverá ser efectuado de tal modo que a concentração da substância de ensaio na solução de reserva não varie significativamente. No caso de ocorrer qualquer reacção química ou precipitação do composto de ensaio, provocada por esse ajustamento, deve descrever-se tal facto.

1.6.1.2. *Água de confinção e de diluição*

Utiliza-se uma fonte de água potável (não contaminada por concentrações potencialmente nocivas de cloro, de metais pesados ou de outras substâncias), água natural de boa qualidade ou água reconstituída (ver apêndice 1). É preferível utilizar águas com uma dureza total compreendida entre 10 e 250 mg de CaCO_3 por litro e com um valor de pH compreendido entre 6,0 e 8,5.

1.6.2. **Aparelho**

Todos os aparelhos devem ser feitos com materiais quimicamente inertes.

- sistema de diluição automático (para o ensaio por escoamento),
- medidor de oxigénio,
- equipamento para a determinação da dureza da água,
- aparelho adequado para o controlo de temperatura,
- medidor de pH.

1.6.3. **Peixes de experiência**

Os peixes devem estar em boas condições de saúde e não devem ser portadores de qualquer defeito físico aparente.

As espécies utilizadas deverão ser seleccionadas tomando como base critérios práticos tais como a sua fácil disponibilidade ao longo do ano, a facilidade da sua manutenção, a conveniência de os submeter a ensaio, a sua sensibilidade relativa às substâncias químicas, e quaisquer factores económicos, biológicos ou ecológicos significativos. Quando se faz a selecção das espécies de peixes deve ter-se presente a necessidade de efectuar um estudo comparando os resultados obtidos com os resultados existentes relativos à harmonização internacional (referência 1).

No apêndice 2 encontra-se uma listagem das espécies de peixes recomendadas para a realização deste ensaio; as espécies preferenciais são o peixe-zebra e a truta-arco-íris.

1.6.3.1. *Confinção*

Preferencialmente os peixes deverão ser provenientes de uma reserva única em que todos possuem a mesma idade e comprimento. Os peixes devem ser confinados durante pelo menos 12 dias nas condições seguintes:

Carga:

apropriada ao sistema (recirculação ou escoamento) e às espécies de peixes;

Água:

ver ponto 1.6.1.2;

Luz:

fotoperíodo diário de 12 a 16 horas;

Concentração do oxigénio dissolvido:

pelo menos 80 % do valor da saturação com ar;

Alimentação:

três vezes por semana ou diariamente, cessando 24 horas antes do início do ensaio.

1.6.3.2. *Mortalidade*

Após um período de ajustamento de 48 horas procede-se ao registo das mortalidades aplicando os critérios seguintes:

— superior a 10 % da população, em sete dias:

rejeição de todo o lote,

— entre 5 % e 10 % da população:

prolonga-se o período de confinção durante mais sete dias.

Se não houver mais mortalidades, o lote é aceitável; caso contrário deve ser rejeitado,

— menos do que 5 % da população:

aceita-se o lote.

1.6.4. **Adaptação**

Os peixes devem ser mantidos, nas condições do ensaio relativas à qualidade da água e à temperatura, durante pelo menos sete dias antes do início deste.

1.6.5. **Procedimento de ensaio**

Antes do ensaio definitivo pode efectuar-se um ensaio preliminar no sentido de se obter informação sobre as concentrações que devem ser utilizadas no ensaio principal.

Para além das séries de ensaio efectua-se uma experiência de controlo sem a substância de ensaio, e, se for relevante, efectua-se também uma experiência de controlo contendo a substância auxiliar.

Consoante as propriedades físicas e químicas do composto de ensaio, assim será seleccionado um ensaio estático, semiestático ou por escoamento, para satisfazer os critérios de qualidade.

Os peixes são expostos à substância de ensaio conforme a seguir descrito:

— duração: 96 horas,

— número de animais: pelo menos sete para cada concentração,

— tanques: com capacidade adequada em relação à carga recomendada,

— carga: recomenda-se uma carga máxima de 1,0 g por litro para os ensaios estático e semiestático; para os sistemas de escoamento é aceitável uma carga superior,

— concentração de ensaio: utilizar-se-ão pelo menos cinco concentrações afastadas entre si por um factor constante inferior a 2,2, e abrangendo tanto quanto possível o intervalo de mortalidade compreendido entre 0 e 100 %,

— água: ver ponto 1.6.1.2,

- luz: fotoperíodo diário de 12 a 16 horas,
- temperatura: apropriada às espécies (apêndice 2) não variando de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ para cada ensaio particular,
- concentração do oxigénio dissolvido: não inferior a 60 % do valor da saturação com ar, para o valor de temperatura seleccionado,
- alimentação: nenhuma.

Os peixes são inspecionados decorridas as duas a quatro horas iniciais e pelo menos em intervalos de 24 horas. Considera-se que os peixes estão mortos se o toque no pedúnculo caudal não produzir qualquer reacção e se não houver movimentos respiratórios visíveis. Regista-se o número de peixes mortos e faz-se a sua remoção. Regista-se também as anomalias visíveis (por exemplo, perda de equilíbrio, alterações do comportamento natatório, função respiratória, pigmentação, etc.).

Diariamente proceder-se-á à medição dos valores de pH, do oxigénio dissolvido e da temperatura.

Teste-limite

Utilizando o procedimento descrito neste método de ensaio é possível efectuar um teste-limite para a concentração de 100 mg por litro no sentido de se demonstrar que o valor CL_{50} é superior a esta concentração.

Se a natureza da substância for tal que não seja possível obter uma concentração de 100 mg por litro, o teste-limite deverá ser efectuado para um valor de concentração igual à solubilidade da substância (ou igual à concentração máxima que forma uma dispersão estável) no meio utilizado (ver também o ponto 1.6.1.1).

O teste-limite deverá ser efectuado utilizando sete a dez peixes, utilizando-se o mesmo número nos controlos. (A teoria do binómio estabelece que no caso de se utilizar dez peixes com mortalidade 0, existe um intervalo de confiança de 99,9 % em que o valor CL_{50} é superior à concentração utilizada no teste-limite. Com sete, oito ou nove peixes, a ausência de mortalidade proporciona um intervalo de confiança de pelo menos 99 % em que o valor CL_{50} é superior à concentração utilizada.)

Se houver mortalidade deve efectuar-se um estudo completo. No caso de serem observados efeitos subletais, estes deverão ser registados.

2. RESULTADOS E AVALIAÇÃO

Para cada período de observações registadas (24, 48, 72 e 96 horas), traça-se a curva da percentagem de mortalidade para cada período de exposição recomendada em função da concentração utilizando papel logarítmico/probabilidade.

Sempre que possível e para cada momento de observação deve estimar-se o valor CL_{50} e os limites de confiança ($p = 0,05$), utilizando procedimentos normalizados; esses valores deverão ser aproximados para um ou, no máximo, dois algarismos significativos (exemplos de arredondamento para dois algarismos: de 173,5 para 174; de 0,127 para 0,13; de 1,21 para 1,2).

Nos casos em que o declive da curva de resposta concentração/percentagem é muito acentuado para permitir o cálculo do valor CL_{50} , considera-se suficiente uma estimativa gráfica deste valor.

No caso de duas concentrações consecutivas, sendo a razão entre elas 2,2, proporcionarem apenas mortalidades de 0 e 100 %, considera-se que esses dois valores são suficientes para indicar o intervalo de localização do valor CL_{50} .

No caso de se verificar que a estabilidade ou a homogeneidade da substância de ensaio não pode ser mantida, dever-se-á descrever esse facto e é necessário tomar precauções na interpretação dos resultados.

3. RELATÓRIO

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

- informação sobre o peixe de ensaio (designação científica, estirpe, fornecedor, qualquer tratamento prévio, dimensões e número utilizado para cada concentração de ensaio),
- fonte da água de diluição e características químicas principais (pH, dureza, temperatura),

- no caso de uma substância de fraca solubilidade aquosa, indicar-se-á o método de preparação das soluções de reserva e de ensaio,
- concentração de quaisquer substâncias auxiliares,
- enumeração das concentrações utilizadas e qualquer informação disponível sobre a estabilidade para essas concentrações da substância química de ensaio, na solução de ensaio,
- no caso de se efectuarem análises químicas, indicar os métodos utilizados e os resultados,
- resultados do teste-limite, se existirem,
- razões para a escolha e pormenores sobre o procedimento de ensaio utilizado (por exemplo, método estático, semiestático, razão entre doses, débito do escoamento, arejamento, número de peixes, etc.),
- descrição do equipamento de ensaio,
- regime de exposição à luz,
- concentrações do oxigénio dissolvido, valor de pH e temperaturas das soluções de ensaio em cada 24 horas,
- provas demonstrativas de que os critérios de qualidade foram cumpridos,
- um quadro apresentando a mortalidade cumulativa para cada concentração e para o controlo (e, se necessário, para o controlo com a substância auxiliar) em cada um dos momentos de observação recomendados,
- gráfico da curva de resposta concentração/percentagem no fim do ensaio,
- sempre que possível, os valores CL_{50} em cada um dos momentos de observação recomendados (com limites de confiança de 95 %),
- procedimentos estatísticos para a determinação dos valores CL_{50} ,
- no caso de se utilizar uma substância de referência, os resultados obtidos,
- valor da mais elevada concentração de ensaio que não provoca mortalidade durante o período do ensaio,
- valor da mais fraca concentração que provoca 100 % de mortalidade durante o período do ensaio.

4. REFERÊNCIAS

- (1) OECD, Paris, 1981, Test Guideline 203, Decision of the Council C(81) 30 final and updates.
- (2) AFNOR — Determination of the acute toxicity of a substance to *Brachydanio rerio* — Static and Flow Through methods — NFT 90-303 June 1985.
- (3) AFNOR — Determination of the acute toxicity of a substance to *Salmo gairdneri* — Static and Flow Through methods — NFT 90-305 June 1985.
- (4) ISO 7346/1, 2 and 3 — Water Quality — Determination of the acute lethal toxicity of substances to a fresh water fish (*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan — *Teleostei*, *Cyprinidae*). Part 1: Static method. Part 2: Semi-static method. Part 3: Flow-through method.
- (5) Eidgenössisches Department des Innern, Schweiz: Richtlinien für Probenahme und Normung von Wasseruntersuchungsmethoden — Part II 1974.

- (6) DIN Testverfahren mit Wasserorganismen, 38 412 (L1) und L (15).
- (7) JIS K 0102, Acute toxicity test for fish.
- (8) NEN 6506 — Water — Bepaling van de akute toxiciteit met behulp van *Poecilia reticulata*, 1980.
- (9) Environmental Protection Agency, Methods for the acute toxicity tests with fish, macroinvertebrates and amphibians. The Committee on Methods for Toxicity Tests with Aquatic Organisms, Ecological Research Series EPA-660-75-009, 1975.
- (10) Environmental Protection Agency, Environmental monitoring and support laboratory, Office of Research and Development, EPA-600/4-78-012, January 1978.
- (11) Environmental Protection Agency, Toxic Substance Control, Part IV, 16 March 1979.
- (12) Standard methods for the examination of water and wastewater, 14th edition, APHA-AWWA-WPCF, 1975.
- (13) Commission of the European Communities, Inter-laboratory test programme concerning the study of the ecotoxicity of a chemical substance with respect to the fish. EEC Study D.8368, 22 March 1979.
- (14) Verfahrensvorschlag des Umweltbundesamtes zum akuten Fisch-Test. Rudolph, P. und Boje, R. Ökotoxikologie, Grundlagen für die Ökotoxikologische Bewertung von Umweltchemikalien nach dem Chemikaliengesetz, ecomed 1986.
- (15) Litchfield, J.T. and Wilcoxon, F., A simplified method for evaluating dose effects experiments, J. Pharm. Exp. Therap., 1949, vol. 96, 99.
- (16) Finney, D.J. Statistical Methods in Biological Assay. Griffin, Weycombe, U.K., 1978.
- (17) Sprague, J.B. Measurement of pollutant toxicity to fish. Bioassay methods for acute toxicity. Water Res., 1969, vol. 3, 793-821.
- (18) Sprague, J.B. Measurement of pollutant toxicity to fish. II Utilising and applying bioassay results. Water Res. 1970, vol. 4, 3-32.
- (19) Stephan, C.E. Methods for calculating an LC₅₀. In Aquatic Toxicology and Hazard Evaluation (edited by F.I. Mayer and J.L. Hamelink). American Society for Testing and Materials, ASTM STP 634, 1977, 65-84.
- (20) Stephan, C.E., Busch, K.A., Smith, R., Burke, J. and Andrews, R.W. A computer program for calculating an LC₅₀. US EPA.

Apêndice 1

Água reconstituída*Exemplo de uma água adequada para diluição*

Todas as substâncias químicas devem ser de qualidade analítica.

A água deve ser destilada e de boa qualidade, ou desionizada com uma condutividade inferior a $5 \mu\text{Scm}^{-1}$.

O aparelho para a destilação da água não deve conter quaisquer partes feitas de cobre.

Soluções de reserva

$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (cloreto de cálcio dihidratado): 11,76 g

Dissolve-se em água e ajusta-se o volume até 1 litro utilizando água.

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (sulfato de magnésio heptahidratado): 4,93 g

Dissolve-se em água e ajusta-se o volume até 1 litro utilizando água.

NaHCO_3 (hidrogenocarbonato de sódio): 2,59 g

Dissolve-se em água e ajusta-se o volume até 1 litro utilizando água.

KCl (cloreto de potássio): 0,23 g

Dissolve-se em água e ajusta-se o volume até 1 litro utilizando água.

Água de diluição reconstituída

Mistura-se 25 ml de cada uma das quatro soluções de reserva e ajusta-se o volume até 1 litro utilizando água.

Faz-se o arejamento até que a concentração do oxigénio dissolvido seja igual ao valor da saturação com ar.

O pH deve ser $7,8 \pm 0,2$.

Se necessário ajusta-se o valor do pH com NaOH (hidróxido de sódio) ou com HCl (ácido clorídrico).

A água para diluição assim preparada é colocada à parte durante 12 horas e não deve ser mais arejada.

A soma dos iões Ca e Mg nesta solução é de 2,5 mmol por litro. A razão entre os iões Ca:Mg é de 4:1 e entre os iões Na:K é de 10:1. A alcalinidade total desta solução é de 0,8 mmol por litro.

Qualquer desvio na preparação da água de diluição não deve modificar a composição ou as propriedades da água.

Apêndice 2

Espécies de peixes recomendadas para ensaio

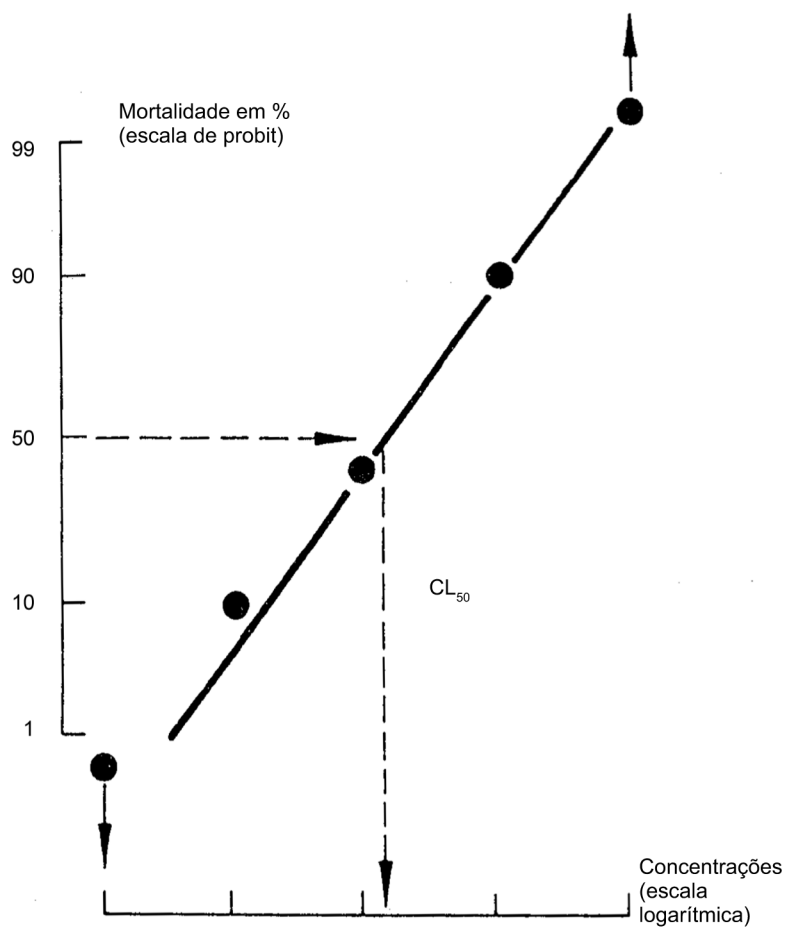
Espécies recomendadas	Intervalo recomendado para as temperaturas de ensaio (°C)	Comprimento total recomendado para os animais do ensaio (cm)
<i>Brachydanio rerio</i> (Teleostei, Cyprinidae) (Hamil-ton-Buchanan) Peixinho-zebra	20 a 24	3,0± 0,5
<i>Pimephales promelas</i> (Teleostei, Cyprinidae) (Rafinesque) Peixinho-cabeça-gorda	20 a 24	5,0 ±2,0
<i>Cyprinus carpio</i> (Teleostei, Cyprinidae) (Linnaeus 1758) Carpa	20 a 24	6,0 ±2,0
<i>Oryzias latipes</i> (Teleostei, Poeciliidae) Cyprinodontidae (Tomminck et Schlegel 1850) Peixe-arroz-do-Ja-pão	20 a 24	3,0 ±1,0
<i>Poecilia reticulata</i> (Teleostei, Poeciliidae) (Peters 1859) Gupi	20 a 24	3,0 ±1,0
<i>Lepomis macrochirus</i> (Teleostei, Centrarchidae) (Rafinesque Linnaeus 1758) Perca-azul	20 a 24	5,0 ±2,0
<i>Onchorhynchus mykiss</i> (Teleostei, Salmonidae) (Walbaum 1988) Truta-arco-íris	12 a 17	6,0 ±2,0
<i>Leuciscus idus</i> (Teleostei, Cyprinidae) (Linnaeus 1758) Escalo-prateado	20 a 24	6,0± 2,0

Obtenção dos peixes

Os peixes acima enumerados são fáceis de criar e amplamente disponíveis ao longo do ano. É fácil criá-los e mantê-los em instalações piscícolas ou em laboratórios, sob condições de controlo de doenças e de parasitas, de tal modo que os animais sejam saudáveis e de origem conhecida. Estes peixes existem em muitas partes do mundo.

Apêndice 3

Exemplo de concentração: mortalidade percentual

Exemplo da determinação do valor CL_{50} utilizando papel log-probit

C.2. ENSAIO DE IMOBILIZAÇÃO AGUDA DA DAPHNIA SP.**1. MÉTODO**

O presente método de ensaio de imobilização aguda é equivalente ao descrito na publicação OECD TG 202 (2004).

1.1. INTRODUÇÃO

O presente método descreve um ensaio de toxicidade aguda para avaliação dos efeitos das substâncias químicas nos dafnídeos. Na medida do possível, foram utilizados métodos de ensaio já existentes (1) (2) (3).

1.2. DEFINIÇÕES

NO ÂMBITO DO PRESENTE MÉTODO, UTILIZAM-SE AS SEGUINTE DEFINIÇÕES:

CE₅₀: estimativa da concentração necessária para imobilizar 50 % dos dafnídeos num dado período de exposição. Caso seja utilizada outra definição, a definição utilizada e a respectiva referência devem ser especificadas.

Imobilização: Os animais incapazes de nadar decorridos 15 segundos, após agitação suave do recipiente de ensaio, são considerados imobilizados.

1.3. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Dafnídeos jovens, com menos de 24 horas no início do ensaio, são expostos por um período de 48 horas a diferentes concentrações da substância a ensaiar. Decorridas 24 horas e 48 horas, respectivamente, a imobilização é registada e comparada com valores-testemunha. Os resultados são depois analisados para cálculo da CE₅₀ às 48h (para as definições, ver ponto 1.2). A determinação da CE₅₀ às 24h é facultativa.

1.4. INFORMAÇÃO SOBRE A SUBSTÂNCIA A ENSAIAR

A solubilidade em água e a pressão de vapor da substância a ensaiar deverão ser conhecidas, devendo existir um método analítico fiável para a quantificação da substância nas soluções de ensaio, relativamente ao qual estejam descritos a eficiência de recuperação e o limite de determinação. A fórmula estrutural, o grau de pureza, a estabilidade em água ou a estabilidade à luz, o P_{ow} e os resultados de um ensaio de biodegradabilidade «fácil» da substância a ensaiar constituem informações úteis (ver método C.4).

Nota: Na referência (4) são dadas orientações para o ensaio de substâncias cujas propriedades físico-químicas dificultam o respectivo ensaio.

1.5. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Pode fazer-se a determinação da CE₅₀ duma substância de referência, para garantia da fiabilidade das condições de ensaio. Recomendam-se, para este efeito, os tóxicos utilizados em ensaios interlaboratoriais (1) (5) ⁽¹⁾. Recomenda-se repetir o ensaio das substâncias de referência mensalmente ou, no mínimo, duas vezes por ano.

1.6. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

Um ensaio é considerado válido quando satisfaz os seguintes critérios:

- nos tratamentos-testemunha, incluindo o que contém o agente solubilizante, a proporção de dafnídeos imobilizados não excede 10 %,
- a concentração de oxigénio dissolvido no final do ensaio é > 3 mg/l, tanto nos recipientes das testemunhas como nos dos tratamentos.

⁽¹⁾ De acordo com estes ensaios interlaboratoriais, bem como com a rectificação técnica à norma ISO 6341, a CE₅₀ — 24 h do dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇) está compreendida entre 0,6 mg/l e 1,7 mg/l.

Nota: Em relação ao primeiro critério, a proporção de dafnídeos-testemunha imobilizados ou com outros sinais de doença ou distúrbios — por exemplo, alterações da cor ou comportamentos anómalos, tais como retenção à superfície da água — não deve exceder 10 %.

1.7. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.7.1. Equipamento

Os recipientes de ensaio, e restante equipamento que entre em contacto com as soluções de ensaio, devem ser exclusivamente de vidro ou outro material quimicamente inerte. Para o ensaio utilizar-se-ão normalmente tubos de ensaio ou copos, que devem ser limpos antes de cada utilização seguindo procedimentos normais de laboratório. Os recipientes de ensaio devem ser tapados mas não vedados, de forma a reduzir a perda de água por evaporação e evitar que entre poeira nas soluções. O ensaio de substâncias voláteis deve ser feito em recipientes completamente cheios e fechados, suficientemente grandes para que o teor de oxigénio não se torne limitante ou demasiado baixo (ver ponto 1.6 e primeiro parágrafo do ponto 1.8.3).

Utilizar-se-á ainda o seguinte equipamento, na totalidade ou em parte: medidor de oxigénio (com microeléctrodo ou outro equipamento adequado para a medição do oxigénio dissolvido em amostras de volume reduzido); medidor de pH; aparelho adequado para o controlo da temperatura; equipamento para a determinação da concentração de carbono orgânico total (COT); equipamento para a determinação da carência química de oxigénio (CQO); equipamento para a determinação da dureza, etc.

1.7.2. Organismos experimentais

A espécie preferida é a *Daphnia magna* Straus, embora possam também utilizar-se outras espécies adequadas de *Daphnia* (por exemplo, *Daphnia pulex*). No início do ensaio, os animais devem ter menos de 24 horas de vida; a fim de reduzir a variabilidade, recomenda-se vivamente que não provenham da primeira postura do progenitor. Devem provir de uma população saudável [isto é, não evidenciar sinais de distúrbios, tais como elevada mortalidade, presença de machos e ovos de resistência (*ephippia*), atraso na primeira postura, animais com alterações na cor, etc.]. Todos os organismos utilizados num determinado ensaio devem provir de culturas da mesma população de dafnídeos. Os animais dessa população devem ser mantidos em condições de cultura (luz, temperatura, meio) semelhantes às que irão ser utilizadas no ensaio. Se o meio de cultura a utilizar no ensaio for diferente do normalmente utilizado para a cultura de dafnídeos, é aconselhável prever um período de aclimação antes do ensaio. Para o efeito, os dafnídeos devem ser mantidos em água de diluição à temperatura do ensaio pelo menos durante as 48 horas anteriores ao início do ensaio.

1.7.3. Águas de cultura e de diluição

Para a cultura e a diluição pode utilizar-se água natural (superficial ou subterrânea), água reconstituída ou água da torneira desclorada, desde que os dafnídeos sobrevivam durante todo o período de cultura, de aclimação e de ensaio sem evidenciar sinais de distúrbios. Qualquer água conforme às características químicas de uma água de diluição aceitável, enunciadas no apêndice 1, é adequada para o ensaio. A qualidade de água deve ser mantida constante durante o decorrer do ensaio. A água reconstituída pode ser preparada juntando a água desionizada ou destilada quantidades determinadas de reagentes de qualidade analítica reconhecida. Nos documentos indicados nas referências (1) e (6) e no apêndice 2 são dados exemplos de água reconstituída. Saliente-se que os meios contendo quelantes conhecidos, tais como os meios M4 e M7 do apêndice 2, devem ser evitados no ensaio de substâncias que contenham metais. O pH deve estar compreendido no intervalo de 6 a 9. Recomenda-se uma dureza compreendida entre 140 e 250 mg/l (expressa em CaCO₃), para a *Daphnia magna*, ao passo que para outras espécies de *Daphnia* podem ser também adequadas durezas menores. A água de diluição pode ser arejada antes da utilização no ensaio, de forma a que a concentração de oxigénio dissolvido atinja a saturação.

Se for utilizada água natural, os parâmetros de qualidade devem ser medidos pelo menos duas vezes por ano, ou sempre que haja suspeita de que as características indicadas (ver parágrafos anteriores e apêndice 1) possam ter variado de modo significativo. Deve também determinar-se o teor de metais pesados (Cu, Pb, Zn, Hg, Cd, Ni, etc.). Se for utilizada água da torneira desclorada, é aconselhável determinar diariamente o teor de cloro. Se a água de diluição provir de um manancial subterrâneo ou superficial, devem ser determinados a condutividade e o carbono orgânico total (COT) ou a carência química de oxigénio (CQO).

1.7.4. Soluções de ensaio

De um modo geral, as soluções de ensaio com as concentrações escolhidas são preparadas por diluição de uma solução-padrão. As soluções-padrão devem ser preparadas, de preferência, por dissolução da substância a ensaiar na água de diluição. Deve evitar-se, tanto quanto possível, a utilização de solventes, emulsionantes ou dispersantes. No entanto, tais compostos podem ser necessários, em alguns casos, para produzir uma solução-padrão com a concentração adequada. O documento indicado na referência (4) contém orientações quanto aos solventes, emulsionantes e dispersantes mais adequados. Em qualquer dos casos, o teor de substância ensaiada presente nas soluções de ensaio nunca deve exceder o limite de solubilidade na água de diluição.

O ensaio deve ser efectuado sem ajustamento do pH. Se o pH não se mantiver no intervalo de 6 a 9 será efectuado outro ensaio, ajustando o pH da solução-padrão ao da água de diluição antes da adição da substância a ensaiar. O ajustamento do pH deve ser efectuado de modo a não provocar alteração significativa da concentração da solução-padrão, nem causar qualquer reacção química ou precipitação da substância ensaiada. Devem utilizar-se, de preferência, HCl e NaOH.

1.8. PROCEDIMENTO

1.8.1. **Condições de exposição**

1.8.1.1. *Grupos tratados e grupos-testemunha*

Encher os recipientes de ensaio com volumes adequados de água de diluição e de soluções da substância a ensaiar. A relação ar/água, em volume, deve ser a mesma nos recipientes dos grupos tratados e dos grupos-testemunha. Colocar, em seguida, os dafnídeos nos recipientes de ensaio. Para cada concentração ensaiada e para os grupos-testemunha devem ser utilizados pelo menos 20 animais, de preferência divididos em quatro grupos de cinco animais. Deve haver um volume de pelo menos 2 ml de solução de ensaio por animal (ou seja, um volume de 10 ml para cinco dafnídeos por recipiente). O ensaio pode ser realizado utilizando o sistema de renovação semiestático ou, quando a concentração da substância ensaiada não for estável, o sistema de escoamento.

A par da série de tratamentos, deve ser realizada uma série-testemunha com água de diluição e, se aplicável, uma série-testemunha com o agente de solubilização.

1.8.1.2. *Concentrações ensaiadas*

Pode ser realizado um ensaio prévio para determinação da gama de concentrações a utilizar no ensaio propriamente dito, excepto nos casos em que existam informações quanto à toxicidade da substância a ensaiar. Para o efeito, os dafnídeos devem ser expostos a concentrações da substância a ensaiar bastante espaçadas entre si. Devem ser expostos a cada concentração ensaiada cinco dafnídeos, durante 48 horas ou menos, não sendo necessárias repetições. O período de exposição pode ser encurtado (por exemplo, 24 horas ou menos) se for possível obter em menos tempo as informações necessárias à determinação da gama de concentrações a utilizar.

Devem ser ensaiadas pelo menos cinco concentrações, numa progressão geométrica cuja razão não deve, de preferência, ser superior a 2,2. Deve fornecer-se uma justificação quando se utilizem menos de cinco concentrações. De preferência, a concentração máxima deveria resultar em 100 % de imobilização e a concentração mínima não ter efeitos observáveis.

1.8.1.3. *Condições de incubação*

A temperatura deve estar compreendida no intervalo de 18°C a 22°C, não devendo a variação em cada ensaio exceder $\pm 1^\circ\text{C}$. Recomenda-se um ciclo de 16 horas de luz e 8 horas de escuridão. Pode também optar-se pela escuridão completa, sobretudo se a substância ensaiada for instável à luz.

Os recipientes não devem ser arejados durante o ensaio. O ensaio é efectuado sem ajustamento do pH. Os dafnídeos não devem ser alimentados durante o ensaio.

1.8.1.4. *Duração*

A duração do ensaio é de 48 horas.

1.8.2. **Observações**

24 horas e 48 horas após o início do ensaio, os recipientes devem ser observados para contagem dos dafnídeos imobilizados (ver definições no ponto 1.2). Além da imobilização, deve ser registado também qualquer comportamento ou aspecto anómalo.

1.8.3. **Determinações analíticas**

O oxigénio dissolvido e o pH são determinados no início e no fim do ensaio, nas testemunhas e no tratamento com maior concentração de substância ensaiada. A concentração de oxigénio dissolvido nos recipientes dos grupos-testemunha deve estar em conformidade com o critério de validade (ver ponto 1.6). A variação do pH em cada ensaio não deve, normalmente, exceder 1,5 unidades. A temperatura é normalmente medida nos recipientes-testemunha ou no ar ambiente, devendo, de preferência, ser registada continuamente durante o ensaio ou, no mínimo, no início e no fim do mesmo.

A concentração de substância ensaiada deve ser medida, no mínimo, nos tratamentos com maior e menor concentração, no início e no fim do ensaio (4). Recomenda-se que os resultados se baseiem em concentrações medidas. No entanto, caso seja possível demonstrar que a concentração da substância a ensaiar na solução se manteve, durante o ensaio, no intervalo de $\pm 20\%$ do valor nominal ou do valor da concentração inicial medida, os resultados poderão basear-se em valores nominais ou nos valores iniciais medidos.

1.9. ENSAIO-LIMITE

Pode ser efectuado, utilizando os procedimentos descritos no presente método, um ensaio-limite com uma concentração de 100 mg/l da substância a ensaiar, ou até ao respectivo limite de solubilidade no meio de ensaio, se este for inferior, a fim de demonstrar que a CE_{50} é superior àquela concentração. O ensaio-limite deve ser efectuado com 20 dafnídeos (de preferência, divididos em quatro grupos de cinco), utilizando-se o mesmo número nos grupos-testemunha. Se houver alguma ocorrência de imobilização, deverá realizar-se um estudo completo. Qualquer comportamento anómalo deve ser registado.

2. DADOS

Os dados devem ser resumidos num quadro, indicando, para cada grupo de tratamento e cada grupo-testemunha, o número de dafnídeos usados e a imobilização em cada momento de observação. As percentagens de imobilizados registadas às 24 horas e às 48 horas são depois representadas num gráfico, em função das concentrações ensaiadas. Os dados são em seguida analisados por métodos estatísticos adequados (por exemplo, análise probit, etc.) para cálculo dos coeficientes angulares e da CE_{50} , com um intervalo de confiança de 95 % ($p = 0,05$) (7) (8).

Quando não sejam aplicáveis aos dados obtidos os métodos usuais de cálculo da CE_{50} , a maior concentração que não provoque imobilização e a menor concentração que provoque 100 % de imobilização devem ser usadas como valores aproximados para o cálculo da CE_{50} , que será considerada como sendo a média geométrica daquelas duas concentrações.

3. RELATÓRIOS

3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deve incluir o seguinte:

Substância ensaiada:

- natureza física e propriedades físico-químicas relevantes,
- dados relativos à identificação química, incluindo a pureza.

Espécie experimental:

- espécie de *Daphnia* utilizada e sua origem, fornecedor original (se for conhecido) e condições de cultura utilizadas (incluindo a origem, tipo e quantidade de alimentos e a frequência com que são fornecidos).

Condições experimentais:

- descrição dos recipientes de ensaio: tipo de recipiente, volume de solução, número de dafnídeos por recipiente, número de recipientes (repetições) por concentração,
- métodos de preparação das soluções-padrão e das soluções de ensaio, incluindo a utilização de solventes ou dispersantes, concentrações utilizadas,
- informações respeitantes à água de diluição: origem e parâmetros de qualidade (pH, dureza, razão Ca/Mg, razão Na/K, alcalinidade, condutividade, etc.); composição da água reconstituída, caso tenha sido utilizada,
- condições de incubação: temperatura, intensidade e periodicidade da iluminação, oxigénio dissolvido, pH, etc.

Resultados:

- número e percentagem de dafnídeos imobilizados ou nos quais foram detectados efeitos nocivos (incluindo anomalias de comportamento) nos grupos-testemunha e em cada um dos grupos tratados, em cada uma das observações efectuadas, bem como uma descrição da natureza dos efeitos observados,
- resultados e data do ensaio da substância de referência, caso existam,
- concentrações nominais ensaiadas e resultado de todas as análises efectuadas para determinação da concentração da substância ensaiada nos recipientes de ensaio; devem também ser indicados a eficiência de recuperação do método e o limite de determinação,
- todas as medições físico-químicas da temperatura, do pH e do oxigénio dissolvido efectuadas durante o ensaio,
- o valor da CE_{50} de imobilização às 48 h, com intervalos de confiança e gráficos do modelo ajustado utilizados no respectivo cálculo, os coeficientes angulares das linhas dose/resposta e respectivo desvio-padrão, os métodos estatísticos utilizados na determinação da CE_{50} (os mesmos dados devem também ser indicados para a imobilização às 24 h, se tiverem sido medidos),
- explicação dos eventuais desvios relativamente ao «Método de ensaio», e da medida em que afectaram os resultados do ensaio.

4. REFERÊNCIAS

- (1) ISO 6341. (1996). Water quality — Determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea) — Acute toxicity test. Third edition, 1996.
- (2) EPA OPPTS 850.1010. (1996). Ecological Effects Test Guidelines — Aquatic Invertebrate Acute Toxicity Test, Freshwater Daphnids.
- (3) Environment Canada. (1996) Biological test method. Acute Lethality Test Using *Daphnia* spp. EPS 1/RM/11. Environment Canada, Ottawa, Ontario, Canada.
- (4) Guidance Document on Aquatic Toxicity Testing of Difficult Substances and Mixtures. OECD Environmental Health and Safety Publication. Series on Testing and Assessment. No. 23. Paris, 2000.
- (5) Commission of the European Communities. Study D8369. (1979). Inter-laboratory Test Programme concerning the study of the ecotoxicity of a chemical substance with respect to *Daphnia*.
- (6) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. Guideline 211: *Daphnia magna* Reproduction Test, adopted September 1998.
- (7) Stephan C.E. (1977). Methods for calculating an LC_{50} . In Aquatic Toxicology and Hazard Evaluation (edited by F.I. Mayer and J.L. Hamelink). ASTM STP 634 — American Society for Testing and Materials. Pp 65-84
- (8) Finney D.J. (1978). Statistical Methods in Biological Assay. 3rd ed. London. Griffin, Weycombe, UK.

Apêndice 1

ALGUMAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE UMA ÁGUA DE DILUIÇÃO ACEITÁVEL

Substância	Concentração
Partículas em suspensão	< 20 mg/l
Carbono orgânico total	< 2 mg/l
Amoníaco (não ionizado)	< 1 µg/l
Cloro residual	< 10 µg/l
Total de pesticidas organofosforados	< 50 ng/l
Total de pesticidas organoclorados + bifenilos policlorados	< 50 ng/l
Cloro orgânico total	< 25 ng/l

Apêndice 2

EXEMPLOS DE ÁGUA RECONSTITUÍDA ADEQUADA PARA O ENSAIO

Água de ensaio ISO (1)

Soluções-padrão (uma só substância)		Para preparar a água reconstituída, juntar a 1 litro de água os seguintes volumes de soluções-padrão (*)
Substância	Quantidade adicionada a 1 litro de água (*)	
Cloreto de cálcio $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	11,76 g	25 ml
Sulfato de magnésio $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	4,93 g	25 ml
Bicarbonato de sódio NaHCO_3	2,59 g	25 ml
Cloreto de potássio KCl	0,23 g	25 ml

(*) Água de pureza adequada, por exemplo, desionizada, destilada ou tratada por osmose inversa, de preferência com condutividade não superior a $10 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Meios Elendt M7 e M4

Aclimação aos meios Elendt M4 e M7

Alguns laboratórios tiveram dificuldades na transferência directa de *Daphnia* para os meios M4 e M7. No entanto, obteve-se algum sucesso com uma aclimação gradual, isto é, transferindo do meio próprio para meio Elendt a 30 %, a 60 % e, por fim, a 100 %. Os períodos de aclimação necessários podem atingir um mês.

Preparação

Oligoelementos

Preparar separadamente soluções-padrão (I) de cada oligoelemento em água de pureza adequada, por exemplo, desionizada, destilada ou tratada por osmose inversa. Com estas soluções-padrão (I), preparar uma segunda solução-padrão única (II) contendo todos os oligoelementos (solução combinada), ou seja:

Solução(ões)-padrão I (uma só substância)	Quantidade adicionada à água (mg/l)	Concentração (em relação ao meio M4)	Para preparar a solução-padrão combinada II, juntar a seguinte quantidade de solução-padrão I à água (ml/l)	
			M4	M7
H_3BO_3	57 190	20 000 vezes	1,0	0,25
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	7 210	20 000 vezes	1,0	0,25
LiCl	6 120	20 000 vezes	1,0	0,25
RbCl	1 420	20 000 vezes	1,0	0,25
$\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	3 040	20 000 vezes	1,0	0,25
NaBr	320	20 000 vezes	1,0	0,25
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1 230	20 000 vezes	1,0	0,25
$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	335	20 000 vezes	1,0	0,25
ZnCl_2	260	20 000 vezes	1,0	1,0
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	200	20 000 vezes	1,0	1,0

Solução(ões)-padrão I (uma só substância)	Quantidade adicionada à água (mg/l)	Concentração (em relação ao meio M4)	Para preparar a solução-padrão combinada II, juntar a seguinte quantidade de solução-padrão I à água (ml/l)	
			M4	M7
KI	65	20 000 vezes	1,0	1,0
Na ₂ SeO ₃	43,8	20 000 vezes	1,0	1,0
NH ₄ VO ₃	11,5	20 000 vezes	1,0	1,0
Na ₂ EDTA 2H ₂ O	5 000	2 000 vezes	—	—
FeSO ₄ 7H ₂ O	1 991	2 000 vezes	—	—

As soluções Na₂ EDTA e FeSO₄ são preparadas separadamente, depois vertidas no mesmo recipiente e imediatamente esterilizadas em autoclave,

obtendo-se assim:

21 de solução Fe-EDTA		1 000 vezes	20,0	5,0

Meios M4 e M7

Os meios M4 e M7 são preparados a partir da solução-padrão II, dos macronutrientes e das vitaminas, do seguinte modo:

	Quantidade adicionada à água (mg/l)	Concentração (em relação ao meio M4)	Quantidade de solução II adicionada para preparação do meio (ml/l)	
			M4	M7
Solução-padrão II (combinação de oligoelementos)		20 vezes	50	50
Soluções-padrão de macronutrientes (uma só substância)				
CaCl ₂ • 2H ₂ O	293 800	1 000 vezes	1,0	1,0
MgSO ₄ • 7H ₂ O	246 600	2 000 vezes	0,5	0,5
KCl	58 000	10 000 vezes	0,1	0,1
NaHCO ₃	64 800	1 000 vezes	1,0	1,0
Na ₂ SiO ₃ • 9H ₂ O	50 000	5 000 vezes	0,2	0,2
NaNO ₃	2 740	10 000 vezes	0,1	0,1
KH ₂ PO ₄	1 430	10 000 vezes	0,1	0,1
K ₂ HPO ₄	1 840	10 000 vezes	0,1	0,1
Solução-padrão de vitaminas	—	10 000 vezes	0,1	0,1

A solução-padrão de vitaminas prepara-se juntando as três vitaminas a 1 litro de água conforme indicado a seguir:

Cloridrato de tiamina	750	10 000 vezes		
Cianocobalamina (B ₁₂)	10	10 000 vezes		
Biotina	7,5	10 000 vezes		

A solução-padrão de vitaminas é armazenada e congelada em pequenas alíquotas. As vitaminas são adicionadas ao meio imediatamente antes da utilização.

N.B.: Para evitar a precipitação dos sais quando se prepara o meio completo, adicionar as alíquotas de soluções de reserva a cerca de 500-800 ml de água desionizada e perfazer até 1 l.

N.B.: A primeira publicação relativa ao meio M4 tem a seguinte referência: Elenet, B. P. (1990). Selenium deficiency in crustacea; an ultrastructural approach to antennal damage in *Daphnia magna* Straus. *Protoplasma*, 154, 25-33.

C.3. TESTE DE INIBIÇÃO PARA ALGAS**1. MÉTODO****1.1. INTRODUÇÃO**

O objectivo do presente ensaio consiste em determinar os efeitos de uma dada substância sobre o crescimento de espécies de algas verdes unicelulares. Ensaio relativamente curtos (72 horas) permitem avaliar efeitos ao longo de várias gerações. O presente método pode ser adaptado a diferentes espécies de algas unicelulares e, neste caso, deve ser fornecida uma descrição do método utilizado com o relatório do ensaio.

O presente método aplica-se mais facilmente a substâncias solúveis em água que, nas condições do ensaio, são susceptíveis de permanecer na água.

Pode também ser utilizado para substâncias que não interfiram directamente com a medição do crescimento das algas.

É desejável possuir, tanto quanto possível, informações sobre a solubilidade em água, a pressão de vapor, a estabilidade química, as constantes de dissociação e a biodegradabilidade da substância antes de se iniciar o ensaio.

Ao fazer-se o planeamento do ensaio e a interpretação dos resultados deve levar-se em consideração todas as informações adicionais (por exemplo, fórmula estrutural, grau de pureza, natureza e percentagem de impurezas significativas, presença e quantidade de aditivos e coeficiente de partição n-octanol/água).

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

Densidade celular: número de células por mililitro;

Crescimento: o aumento da densidade celular ao longo do período de ensaio;

Taxa de crescimento: o aumento da densidade celular por unidade de tempo;

CE₅₀: de acordo com este método é a concentração da substância de ensaio que provoca uma redução de 50 % quer no crescimento (C_bE₅₀) quer na taxa de crescimento (C_rE₅₀) em relação ao controlo;

CSEO (concentração sem efeito observável): de acordo com este método é a mais elevada concentração de ensaio com a qual não se observou uma inibição significativa do crescimento relativamente ao controlo.

Todas as concentrações da substância de ensaio são dadas em peso por volume (miligramas por litro). Essas concentrações também podem ser expressas em peso por peso (mg/kg⁻¹).

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Pode fazer-se o ensaio com uma substância de referência para se demonstrar que, sob as condições de ensaio laboratoriais, a sensibilidade da espécie de ensaio não se alterou significativamente.

No caso de se utilizar uma substância de referência, os resultados observados deverão constar do relatório do ensaio. Pode utilizar-se dicromato de potássio como substância de referência, mas a sua cor pode afectar a qualidade e a intensidade da luz que atinge as células e também as determinações espectrofotométricas, se for caso disso. O dicromato de potássio tem sido utilizado em ensaios internacionais interlaboratoriais (ver referência 3 e apêndice 2).

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Pode efectuar-se um teste-limite com a concentração de 100 mg por litro no sentido de se demonstrar que o valor CE₅₀ é superior a essa concentração.

Expõem-se culturas de algas verdes seleccionadas, em fase de crescimento exponencial, em condições definidas, a diferentes concentrações da substância de ensaio, durante diversas gerações.

Faz-se a incubação das soluções de ensaio durante um período de 72 horas, durante o qual se mede a densidade celular em cada solução, pelo menos em cada 24 horas. Determina-se a inibição do crescimento em relação a uma cultura de controlo.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

Os critérios de qualidade deverão ser aplicados ao teste-limite e também no método do teste global.

A densidade celular nas culturas de controlo deverá aumentar pelo menos 16 vezes no período de três dias.

A concentração da substância de ensaio deverá ser mantida a mais de 80 % do valor da concentração inicial, ao longo do período de duração do ensaio.

Para as substâncias que se dissolvem facilmente no meio de ensaio formando soluções estáveis, isto é, para as substâncias que não são significativamente volatilizáveis, degradáveis, hidrolisáveis ou adsorvidas, pode considerar-se a concentração inicial como equivalente ao valor da concentração nominal. Dever-se-á demonstrar que as concentrações foram mantidas durante todo o ensaio e que os critérios de qualidade foram satisfeitos.

Para as substâncias que são:

- i) fracamente solúveis no meio de ensaio, ou
- ii) susceptíveis de formar emulsões ou dispersões estáveis, ou
- iii) instáveis em soluções aquosas,

deverá considerar-se como concentração inicial o valor da concentração medida no início do ensaio. A concentração deve ser determinada após um período de equilíbrio.

Em quaisquer desses casos é necessário efectuar outras medições durante o ensaio, para se confirmar que as concentrações da exposição e os critérios de qualidade foram respeitados.

Sabe-se que quantidades significativas da substância de ensaio podem ser incorporadas na biomassa das algas durante o período do ensaio. Em consequência, com o objectivo de se demonstrar compatibilidade com os anteriores critérios de qualidade, dever-se-á tomar em consideração tanto a substância incorporada na biomassa das algas como a substância em solução (ou, se não for tecnicamente possível, medida na coluna de água). Todavia, uma vez que a determinação da concentração da substância na biomassa das algas pode colocar problemas técnicos significativos, pode demonstrar-se a compatibilidade com os critérios de qualidade fazendo uma experiência num vaso de ensaio com o valor mais elevado de concentração da substância mas sem algas e medindo as concentrações na solução (ou, se não for tecnicamente possível, na coluna de água) no início e no termo do período de ensaio.

1.6. DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO DE ENSAIO

1.6.1. Reagentes

1.6.1.1. Soluções das substâncias de ensaio

As soluções de reserva com a concentração pretendida são preparadas dissolvendo a substância em água desionizada ou simplesmente em água, de acordo com o ponto 1.6.1.2.

As concentrações de ensaio escolhidas são preparadas adicionando quantidades alíquotas adequadas às pré-culturas de algas (ver apêndice 1).

Normalmente as substâncias apenas deverão ser testadas até ao limite de solubilidade. Para algumas substâncias (por exemplo, substâncias que possuem fraca solubilidade em água, ou um valor P_{oa} elevado, ou para aquelas que formam dispersões estáveis em vez de uma verdadeira solução em água), é aceitável efectuar a experiência com uma concentração superior ao limite de solubilidade da substância para garantir a obtenção da máxima concentração solúvel/estável. Todavia é importante que essa concentração não perturbe, por qualquer forma, o sistema de ensaio (por exemplo, formação de uma película da substância sobre a superfície da água evitando a sua oxigenação, etc.).

É possível recorrer à dispersão ultra-sónica, aos solventes orgânicos, aos emulsionantes ou dispersantes para auxiliar a preparação de soluções de reserva das substâncias com fraca solubilidade na água ou para auxiliar a fazer a dispersão dessas substâncias no meio de ensaio. Quando se utilizam essas substâncias auxiliares todas as concentrações de ensaio deverão conter a mesma quantidade de substância auxiliar e dever-se-á expor os controlos adicionais a uma concentração da substância auxiliar idêntica à utilizada nas séries de ensaio. A concentração dessas substâncias auxiliares deverá ser mínima e em caso algum deve exceder 100 mg por litro de meio de ensaio.

O ensaio deve ser efectuado sem ajustamento do valor de pH. Se houver sinais evidentes de uma alteração nítida dos valores de pH, é aconselhável repetir o ensaio com ajustamento desses valores e efectuar-se-á o registo dos resultados. Nesse caso ajustar-se-á o valor do pH da solução de reserva para o valor de pH da água de diluição, salvo se houver razões específicas para não se proceder desse modo. Para satisfazer este objectivo é preferível utilizar HCl e NaOH. Este ajustamento do valor do pH deverá ser efectuado de tal modo que a concentração da substância de ensaio na solução de reserva não varie significativamente. No caso de ocorrer qualquer reacção química ou precipitação do composto de ensaio, provocada por esse ajustamento, deve descrever-se tal facto.

1.6.1.2. Meio de ensaio

A água deve ser destilada e de boa qualidade, ou desionizada com uma condutividade inferior a 5 μScm^{-1} . O aparelho para a destilação da água não deve conter quaisquer partes feitas de cobre.

Recomenda-se a utilização do meio a seguir descrito.

Faz-se a preparação de quatro soluções de reserva de acordo com o quadro que se apresenta a seguir. As soluções de reserva são esterilizadas por filtração através de membrana ou por tratamento em autoclave e devem ser armazenadas no escuro à temperatura de 4°C. A solução de reserva n.º 4 deve ser esterilizada apenas por filtração através de membrana. Estas soluções de reserva são diluídas para se obter nas soluções de ensaio as concentrações finais de nutrientes.

Nutrientes	Concentração na solução de reserva	Concentração final na solução de ensaio
Solução de reserva n.º 1: macro-nutrientes		
NH ₄ Cl	1,5 g/l	15 mg/l
MgCl ₂ .6H ₂ O	1,2 g/l	12 mg/l
CaCl ₂ .2H ₂ O	1,8 g/l	18 mg/l
MgSO ₄ .7H ₂ O	1,5 g/l	15 mg/l
KH ₂ PO ₄	0,16 g/l	1,6 mg/l
Solução de reserva n.º 2:		
FeCl ₃ .6H ₂ O	80 mg/l	0,08 mg/l
Na ₂ EDTA.2H ₂ O	100 mg/l	0,1 mg/l
Solução de reserva n.º 3: micro-nutrientes		
H ₃ BO ₃	185mg/l	0,185 mg/l
MnCl ₂ .4H ₂ O	415 mg/l	0,415 mg/l
ZnCl ₂	3 mg/l	3 x 10 ⁻³ mg/l
CoCl ₂ .6H ₂ O	1,5 mg/l	1,5 x 10 ⁻³ mg/l
CuCl ₂ .2H ₂ O	0,01 mg/l	10 ⁻⁵ mg/l
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	7 mg/l	7 x 10 ⁻³ mg/l
Solução de reserva n.º 4: NaHCO₃		
NaHCO ₃	50 g/l	50 mg/l

O valor do pH do meio, após o equilíbrio com o ar, é aproximadamente 8.

1.6.2. Aparelho

- equipamento normal de laboratório,
- frascos de ensaio com um volume adequado (por exemplo, os frascos cónicos de 250 ml são adequados quando o volume da solução de ensaio é de 100 ml). Todos os frascos de ensaio devem ser idênticos no que diz respeito ao material e às dimensões,
- aparelho para desenvolver as culturas: um compartimento ou câmara em que seja possível manter a temperatura no intervalo entre 21°C e 25°C $\pm$ 2°C com iluminação uniforme contínua na banda dos 400 a 700 nm. Se as algas das culturas de controlo tiverem atingido as taxas de crescimento recomendadas, pode considerar-se que as condições para o crescimento, incluindo a intensidade luminosa, são adequadas.

Recomenda-se a utilização, ao nível médio das soluções de ensaio, de uma intensidade luminosa no intervalo entre 60 e 120 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (35 a 70 $\times 10^{18}$ fotões $\cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), fazendo-se a medição na banda entre 400 e 700 nm, utilizando um receptor apropriado. Para os instrumentos de medição da luz calibrados em Lux, considera-se aceitável o intervalo equivalente entre 6 000 e 10 000 Lx.

A intensidade luminosa pode ser obtida utilizando quatro a sete lâmpadas fluorescentes de 30 W geradoras de luz branca universal (a temperatura de cor é aproximadamente 4 000 K), a uma distância de 0,35 m da cultura de algas,

- As medições de densidade celular devem ser efectuadas recorrendo a um método de contagem directa das células vivas, por exemplo, um microscópio com câmaras de contagem. Contudo é possível utilizar outros procedimentos (fotometria, turbidimetria, ...) se forem suficientemente sensíveis e no caso de se demonstrar que estão suficientemente bem correlacionados com a densidade celular.

1.6.3. Organismos de ensaio

Sugere-se que a espécie de algas verdes utilizadas seja uma espécie de crescimento rápido conveniente para ser desenvolvida em cultura e para ensaio. Dá-se preferência às espécies seguintes:

- *Selenastrum capricornutum*, v.g. ATCC 22662 ou CCAP 278/4,
- *Scenedesmus subspicatus*, v.g. 86.81 SAG.

Nota:

ATCC = American Type Culture Collection (U.S.A.)

CCAP = Culture Centre of Algae and Protozoa (U.K.)

SAG = Collection of algal culture (Göttingen, F.R.G.)

No caso de se utilizar outras espécies, deve indicar-se a estirpe.

1.6.4. Procedimento de ensaio

O intervalo de concentrações no qual é provável a ocorrência de efeitos, determina-se com base em ensaios preliminares para a determinação das concentrações.

As duas medições de crescimento (biomassa e taxa de crescimento) podem originar valores altamente discrepantes da inibição do crescimento; deverão ser utilizadas ambas no ensaio preliminar para a determinação de concentrações para se garantir que a progressão geométrica das concentrações permitirá estimar os dois valores C_bE_{50} e C_rE_{50} .

Densidade celular inicial

Recomenda-se que a densidade celular inicial nas culturas de ensaio seja aproximadamente de 10^4 células/ml para *Selenastrum capricornutum* e *Scenedesmus subspicatus*. No caso de se utilizar outras espécies a biomassa deve ser equivalente.

Concentrações da substância de ensaio

Para o ensaio faz-se a preparação de pelo menos cinco concentrações numa série geométrica cuja razão entre concentrações não exceda 2,2. O menor valor da concentração ensaiada não deverá provocar efeitos observáveis sobre o desenvolvimento das algas. A concentração mais elevada ensaiada deverá inibir o crescimento em pelo menos 50 % relativamente ao controlo e, preferencialmente deverá interromper totalmente o crescimento.

Repetições e controlos

O ensaio deve incluir três repetições de cada concentração ensaiada. Faz-se a experiência com três controlos sem substância de ensaio e, se for relevante, faz-se a experiência também com três controlos contendo a substância auxiliar. Se se justificar, o ensaio pode ser alterado no sentido de aumentar o número de concentrações e reduzir o número de repetições por concentração.

Execução do ensaio

Para se prepararem as culturas de ensaio contendo as concentrações desejadas da substância de ensaio e a quantidade desejada de inóculo de algas, adiciona-se quantidades alíquotas das soluções de reserva da substância de ensaio a quantidades adequadas de pré-culturas de algas (ver apêndice 1).

Os frascos de ensaio da cultura são agitados e colocados no aparelho destinado à cultura. As células das algas são mantidas em suspensão agitando, mexendo ou fazendo borbulhar ar, no sentido de melhorar as trocas gasosas e reduzir a variação do pH das soluções de ensaio. As culturas deverão ser mantidas a uma temperatura compreendida entre 21 °C e 25 °C, controlada a ± 2 °C.

Determina-se a densidade celular em cada frasco de ensaio decorridas pelo menos 24, 48 e 72 horas após o início do ensaio. Utiliza-se o meio de algas filtrado contendo uma concentração apropriada da substância química de ensaio, para se determinar a concentração espontânea quando se recorre a medições da densidade celular diferentes dos métodos de contagem directa.

Mede-se o valor do pH no início do ensaio e decorridas 72 horas.

O valor do pH dos controlos não deverá variar normalmente mais do que 1,5 unidades durante o ensaio.

Ensaio de substâncias voláteis

Até ao presente não existe qualquer método geralmente aceite para ensaiar substâncias voláteis. Quando se sabe que uma substância tem tendência para se vaporizar pode recorrer-se à utilização de frascos de ensaio fechados com maior espaço vazio. Deve tomar-se em consideração a possibilidade de haver falta de CO₂ quando se calcula o espaço vazio dos balões de ensaio fechados. Foram já propostas variações deste método (ver referência 4).

Deve-se procurar determinar a quantidade de substância que permanece nas soluções e aconselha-se extrema precaução na interpretação dos resultados dos ensaios com produtos químicos voláteis quando se utilizam sistemas fechados.

Teste-limite

Utilizando o procedimento descrito neste método de ensaio é possível efectuar um teste-limite para a concentração de 100 mg por litro no sentido de se demonstrar se o valor CE₅₀ é superior a esta concentração.

Se a natureza da substância for tal que não seja possível obter uma concentração de 100 mg por litro, o teste-limite deverá ser efectuado para um valor de concentração igual à solubilidade da substância (ou igual à concentração máxima que forma uma dispersão estável) no meio utilizado (ver também o ponto 1.6.1.1).

O teste-limite deve ser efectuado pelo menos em triplicado, com o mesmo número de controlos. No teste-limite devem ser utilizadas as duas medições do crescimento (biomassa e taxa de crescimento).

Se num teste-limite se verificar uma diminuição média igual ou superior a 25 %, tanto para a biomassa como para a taxa de crescimento, entre este teste-limite e o controlo, é necessário efectuar um ensaio completo.

2. RESULTADOS E AVALIAÇÃO

A densidade celular medida nas culturas do ensaio e de controlo é apresentada em quadros conjuntamente com as concentrações da substância de ensaio e os tempos de medição. O valor médio da densidade celular para cada uma das concentrações da substância de ensaio e para os controlos é representado graficamente em função do tempo (0-72 horas) obtendo-se deste modo curvas de crescimento.

Para se determinar a relação concentração/efeito devem ser utilizados os dois métodos adiante descritos. Algumas substâncias podem estimular o crescimento, com baixos valores de concentração. Apenas deverão ser considerados os dados que indicam uma inibição entre 0 e 100 %.

2.1. COMPARAÇÃO DAS ÁREAS SOB AS CURVAS DE CRESCIMENTO

A área existente entre as curvas de crescimento e a linha horizontal $N = N_0$ pode ser calculada de acordo com a fórmula seguinte:

$$A = \frac{N_1 - N_0}{2} \times t_1 + \frac{N_1 + N_2 - 2N_0}{2} \times (t_2 - t_1) + \dots + \frac{N_{n-1} + N_n - 2N_0}{2} \times (t_n - t_{n-1})$$

em que

A = área,

N_0 = número de células/mililitro contadas no instante t_0 (início do ensaio),

N_1 = número de células/mililitro contadas no instante t_1 ,

N_n = número de células/mililitro contadas no instante t_n ,

t_1 = tempo da primeira medição após o início do ensaio,

t_n = tempo da medição após o início do ensaio,

n = número de medições efectuadas após o início do ensaio.

A percentagem de inibição do crescimento celular para cada uma das concentrações da substância de ensaio (I_A) calcula-se pela fórmula:

$$I_A = \frac{A_c - A_t}{A_c} \times 100$$

em que

A_c = área entre a curva de crescimento no grupo de controlo e a linha horizontal $N = N_0$.

A_t = área entre a curva de crescimento para o valor da concentração t e a linha horizontal $N = N_0$.

=

Os valores I_A são representados graficamente em papel semilogarítmico ou em papel semilogarítmico-«probit» em função das correspondentes concentrações. Se os pontos forem representados graficamente em papel «probit» traça-se uma recta por estimativa ou através dos dados de regressão calculados por computador.

O valor CE_{50} é estimado a partir da linha de regressão por leitura da concentração que é equivalente a uma inibição de 50 % ($I_A = 50$ %). Para designar o valor obtido por este método de cálculo, sem ambiguidade, propõe-se a utilização do símbolo C_bE_{50} . É essencial que o símbolo C_bE_{50} fique associado com o período de exposição apropriado, por exemplo, C_bE_{50} (0-72 horas).

2.2. COMPARAÇÃO DAS TAXAS DE CRESCIMENTO

A taxa de crescimento específico média (μ) para culturas em crescimento exponencial pode ser calculada do seguinte modo:

$$\mu = \frac{\ln N_n - \ln N_0}{t_n - t_0}$$

em que t_0 representa o instante do início do ensaio.

Outro método para se calcular a taxa de crescimento específico média, consiste em determinar o declive da recta de regressão resultante da representação gráfica de $\ln N$ em função do tempo.

A percentagem de inibição da taxa de crescimento específico para cada uma das concentrações da substância de ensaio ($I_{\mu t}$) calcula-se de acordo com a fórmula seguinte:

$$I_{\mu t} = \frac{\mu_c - \mu_t}{\mu_c} \times 100$$

em que

μ_c = taxa de crescimento específico do controlo

μ_t = taxa de crescimento específico média para a concentração t de ensaio

A percentagem de redução da taxa de crescimento específico média para cada uma das concentrações da substância de ensaio comparada com o valor do controlo é representada graficamente em função do logaritmo da concentração. Os valores CE_{50} podem ser lidos a partir do gráfico resultante. Para se designar sem ambiguidades o valor CE_{50} obtido por este método, propõe-se a utilização do símbolo C_rE_{50} . Devem ser indicados os instantes de medição, por exemplo, se aquele valor disser respeito aos momentos de observação correspondentes a 0 e 72 horas, o símbolo será C_rE_{50} (0-72 horas).

Nota: A taxa de crescimento específico é um valor logarítmico, pelo que pequenas alterações no valor da taxa de crescimento podem conduzir a grandes alterações no valor da biomassa. Por conseguinte os valores C_bE e C_rE não são numericamente comparáveis.

2.3. CÁLCULO DA CSEO

Determina-se a concentração sem efeito observável recorrendo a um procedimento estatístico adequado para comparação de amostras múltiplas (por exemplo, análise de variância e teste de Dunnett), utilizando os valores das repetições individuais relativos às áreas sob as curvas de crescimento A (ver ponto 2.1) ou as taxas de crescimento específico μ (ver ponto 2.2).

3. RELATÓRIO

O relatório do ensaio deverá conter, se possível, a informação seguinte:

- substâncias de ensaio: dados relativos à identificação química,
- organismos utilizados no ensaio: origem, cultura de laboratório, número da estirpe, método de cultura,
- condições do ensaio:
 - data do início e do termo do ensaio e respectiva duração,
 - temperatura,
 - composição do meio,
 - aparelho para a cultura,
 - pH das soluções no início e no termo do ensaio (deve ser fornecida uma explicação se forem observados desvios de pH superiores a 1,5 unidades),
 - veículo e método utilizados para solubilizar a substância de ensaio e concentração do veículo nas soluções de ensaio,
 - intensidade e natureza da luz,
 - concentrações ensaiadas (medidas ou nominais).
- Resultados:
 - densidade celular em cada um dos frascos de ensaio para cada um dos pontos de medição e método para a medição da densidade celular,

- valores médios da densidade celular,
- curvas de crescimento,
- representação gráfica da relação concentração/efeito,
- valores CE e método para o seu cálculo,
- CSEO,
- outros efeitos observados.

4. REFERÊNCIAS

- (1) OECD, Paris, 1981, Test Guideline 201, Decision of the Council C(81) 30 final.
- (2) Umweltbundesamt, Berlin, 1984, Verfahrensvorschlag «Hemmung der Zellvermehrung bei der Grünalge *Scenedesmus subspicatus*», in: Rudolph/Boje: Ökotoxikologie, ecomed, Landsberg, 1986.
- (3) ISO 8692 — Water quality — Fresh water algal growth inhibition test with *Scenedesmus subspicatus* and *Selenastrum capricornutum*.
- (4) S.Galassi and M.Vighi — Chemosphere, 1981, vol.10, 1123-1126.

*Apêndice 1***Exemplo de um procedimento para a cultura de algas** **Observações gerais**

O objectivo de se fazer uma cultura com base no procedimento a seguir descrito consiste em proporcionar culturas de algas para ensaios de toxicidade.

Dever-se-ão utilizar métodos adequados para garantir que as culturas de algas não são infectadas com bactérias (ISO 4833). As culturas axénicas podem ser desejáveis mas as culturas de algas de uma única espécie são essenciais.

Todas as operações deverão ser efectuadas sob condições estéreis, no sentido de se evitar a contaminação com bactérias ou com outras algas. As culturas contaminadas devem ser rejeitadas.

Procedimentos para a obtenção de culturas de algas*Preparação das soluções de nutrientes (meio de cultura):*

O meio de cultura pode ser preparado diluindo as soluções de nutrientes concentradas de reserva. Para um meio sólido adiciona-se 0,8 % de ágar. O meio utilizado deve ser estéril. A esterilização em autoclave pode originar a libertação de NH_3 .

Cultura de reserva:

As culturas de reserva são pequenas culturas de algas que são regularmente transferidas para um meio fresco a fim de servirem de material de ensaio inicial. Se as culturas não forem regularmente utilizadas, são conservadas em tubos de ágar inclinados. São transferidas para um meio fresco pelo menos de dois em dois meses.

As culturas de reserva são cultivadas em frascos de ensaio contendo o meio adequado (com o volume aproximado de 100 ml). Quando as algas são incubadas à temperatura de 20°C com iluminação contínua é necessário fazer uma transferência semanal.

Durante a transferência, uma determinada quantidade de cultura «antiga» é transferida por meio de pipetas esterilizadas para um frasco de ensaio contendo o meio fresco, de modo a que a concentração inicial, para as espécies em crescimento rápido, seja cerca de 100 vezes inferior à verificada na cultura antiga.

A taxa de crescimento de uma espécie pode ser determinada a partir da curva de crescimento. Uma vez conhecida, é possível estimar a densidade para a qual a cultura deve ser transferida para o novo meio, o que deve ser feito antes de a cultura alcançar a fase de morte.

Pré-cultura:

Pretende-se que a pré-cultura forneça uma adequada quantidade de algas para a inoculação das culturas de ensaio. A pré-cultura é incubada nas condições do ensaio e utilizada quando ainda se encontra em fase exponencial de crescimento, normalmente após um período de incubação de cerca de três dias. Quando as culturas de algas apresentam células deformadas ou anormais, devem ser rejeitadas.

Apêndice 2

A norma ISO 8692 — qualidade da água — o ensaio de inibição do crescimento de algas em água doce com as espécies *Scenedesmus subspicatus* e *Selenastrum capricornutum* deu origem aos resultados que a seguir se apresentam, num ensaio interlaboratorial desenvolvido por 16 laboratórios, testando-se o dicromato de potássio).

	Médias (mg/l)	Intervalo (mg/l)
CrE_{50} (0-72 h)	0,84	0,60 a 1,03
CbE_{50} (0-72 h)	0,53	0,20 a 0,75

C.4. DETERMINAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE «FÁCIL»

PARTE I. CONSIDERAÇÕES GERAIS

I.1. INTRODUÇÃO

Descrevem-se seis métodos de ensaio que permitem fazer o despiste da biodegradabilidade fácil de substâncias químicas, num meio aquoso aeróbio:

- a) Redução gradual do Carbono Orgânico Dissolvido (COD) (método C.4-A);
- b) Método de despiste da OCDE modificado — redução gradual do COD (método C.4-B);
- c) Libertação de dióxido de carbono (CO₂) (teste de Sturm modificado) (método C.4-C);
- d) Respirometria manométrica (método C.4-D);
- e) Frasco fechado (método C.4-E);
- f) MITI (Ministério do Comércio Internacional e da Indústria — Japão) (método C.4-F).

As considerações gerais e também as considerações comuns aos seis testes figuram na parte I do método. Os aspectos específicos de cada método são descritos nas partes II a VII. Os apêndices contêm definições, fórmulas e anotações informativas.

Um exercício comparativo interlaboratorial organizado pela OCDE, efectuado em 1988, demonstrou que os métodos permitem obter resultados consistentes. Todavia, consoante as características físicas da substância que se pretende testar, assim se dará preferência a um ou outro método.

I.2. SELECÇÃO DO MÉTODO APROPRIADO

No sentido de se seleccionar o método mais adequado, é essencial dispor de informações sobre a solubilidade, a pressão de vapor e as características de adsorção das substâncias químicas. A estrutura química ou a fórmula química devem ser conhecidas para o cálculo dos valores teóricos e/ou confirmação dos valores medidos dos parâmetros característicos, por exemplo, CTeO, CO₂Te, COD, COT, CQO (ver apêndices 1 e 2).

As substâncias químicas de ensaio que forem solúveis em água na proporção de pelo menos 100 mg/l podem ser avaliadas por todos os métodos, desde que não sejam voláteis e não sejam adsorventes. Para as substâncias químicas que forem pouco solúveis em água, voláteis ou adsorventes, os métodos adequados são indicados no quadro 1. No apêndice 3 é descrito o modo de proceder com as substâncias químicas pouco solúveis em água e com as substâncias químicas voláteis. As substâncias químicas moderadamente voláteis podem ser testadas pelo método de redução gradual do COD, se existir espaço livre suficiente para o gás nos recipientes de ensaio (os quais devem estar adequadamente tapados). Neste caso deve ser efectuado um controlo abiótico que permita detectar eventuais perdas físicas.

Quadro 1

aplicabilidade dos métodos de ensaio

Teste	Método analítico	Adequado para substâncias que são:		
		pouco solúveis	voláteis	adsorvíveis
Redução gradual do COD	Carbono orgânico dissolvido	—	—	+/-
Redução gradual do COD/ /método OCDE	Carbono orgânico dissolvido	—	—	+/-
Libertação de CO ₂	Respirometria: libertação de CO ₂	+	—	+
Respirometria manométrica	Respirometria manométrica: consumo de oxigénio	+	+/-	+

Teste	Método analítico	Adequado para substâncias que são:		
		pouco solúveis	voláteis	adsorvíveis
Frasco fechado	Respirometria: oxigénio dissolvido	+/-	+	+
MITI	Respirometria: consumo de oxigénio	+	+/-	+

É necessário dispor de informações sobre a pureza ou sobre as proporções relativas dos componentes principais do material de ensaio para interpretar os resultados obtidos, especialmente quando os resultados são baixos ou marginais.

O facto de se dispor de informações sobre a toxicidade da substância química de teste em relação às bactérias (apêndice 4) pode ser muito útil para seleccionar concentrações de ensaio adequadas e pode ser essencial para a interpretação correcta de valores baixos de biodegradação.

I.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Para se controlar o processo testam-se substâncias químicas de referência que satisfaçam os critérios de biodegradabilidade fácil, realizando uma experiência num frasco adequado, em paralelo com os procedimentos normais.

As substâncias químicas adequadas são a anilina (recentemente destilada), o acetato de sódio e o benzoato de sódio. Todas estas substâncias químicas de referência degradam-se ao serem submetidas a estes métodos, mesmo quando nenhum inóculo é deliberadamente adicionado.

Foi sugerida a utilização de uma substância química de referência que fosse facilmente biodegradável, mas que necessitasse da adição de um inóculo. Foi sugerida a utilização de hidrogenoftalato de potássio mas é necessário obter mais provas de eficácia com esta substância, antes que possa ser aceite como substância de referência.

Nos ensaios respirométricos, os compostos que contêm azoto podem afectar o consumo de oxigénio devido à nitrificação (ver apêndices 2 e 5).

I.4. PRINCÍPIO DOS MÉTODOS DE ENSAIO

Faz-se a inoculação de uma solução ou suspensão da substância de ensaio num meio mineral e, depois, procede-se à incubação sob condições aeróbias, ao abrigo da luz ou sob luz difusa. A quantidade de COD na solução de ensaio originada pelo inóculo deverá ser mantida o mais baixo possível relativamente à quantidade de COD originada pela substância de ensaio. Tem-se em conta a actividade endógena do inóculo efectuando ensaios paralelos em branco, com inóculo, mas sem a substância de ensaio, embora a actividade endógena das células na presença da substância não seja exactamente a mesma que no controlo endógeno. Efectua-se um ensaio em paralelo com a substância de referência, para verificação do processo.

Em geral, acompanha-se a degradação determinando parâmetros característicos, tais como o COD, a produção de CO₂ e o consumo de oxigénio, efectuando-se medições com suficiente frequência, de modo a identificar o início e o fim da biodegradação. Com os respirómetros automáticos as medições são contínuas. O COD é por vezes medido em conjunto com outro parâmetro mas normalmente isso só sucede no início e no fim do ensaio. Também se pode recorrer a análises químicas específicas para avaliar a degradação primária da substância de ensaio e para se determinar a concentração de quaisquer substâncias intermédias formadas (obrigatório no teste de MITI).

Normalmente, o ensaio prolonga-se por 28 dias. Todavia, os ensaios podem ser terminados antes de decorridos 28 dias, isto é, logo que a curva de biodegradação tenha atingido um patamar que envolva pelo menos 3 determinações. Os ensaios também podem ser prolongados para além do período de 28 dias, no caso de a curva mostrar que se iniciou a biodegradação mas que o patamar não foi atingido até ao 28.º dia.

I.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

I.5.1. Reprodutibilidade

Devido à natureza da biodegradação e das populações bacterianas mistas utilizadas como inóculos, as determinações devem ser efectuadas pelo menos em duplicado.

Sabe-se pela experiência que, quanto maior for a concentração de microorganismos adicionados inicialmente ao meio de ensaio, menores serão as diferenças entre repetições. Ensaios interlaboratoriais demonstram também que pode haver grandes diferenças entre os resultados obtidos em laboratórios diferentes, embora se obtenha, normalmente, uma boa concordância quando se utilizam compostos facilmente biodegradáveis.

1.5.2. Validade do ensaio

Considera-se que um ensaio é válido se a diferença entre valores extremos de repetições de desaparecimento da substância química de ensaio, no patamar, no fim do teste ou no final dos 10 dias, for inferior a 20 % e se a percentagem de degradação da substância de referência atingir o nível de biodegradabilidade fácil ao fim de 14 dias. Se qualquer uma destas condições não for satisfeita, o ensaio deve ser repetido. Devido à especificidade dos métodos, os valores baixos não significam necessariamente que a substância de ensaio não seja biodegradável nas condições ambientais, mas significa que serão necessários novos estudos para se provar a biodegradabilidade.

Se num ensaio de toxicidade, contendo tanto a substância de ensaio como a substância química de referência, ocorrer uma degradação inferior a 35 % (tomando como base o COD) ou inferior a 25 % (tomando como base CTeO ou CO₂Te) decorridos 14 dias, pode admitir-se que as substâncias químicas de ensaio são inibidoras (ver também o apêndice 4). As sequências de ensaio deverão ser repetidas, utilizando, se possível, uma concentração inferior da substância química de ensaio e/ou uma concentração superior de inóculo, mas não superior a 30 mg de sólidos/litro.

1.6. PREPARAÇÕES E PROCEDIMENTOS GERAIS

As condições gerais aplicáveis aos ensaios são resumidas no quadro 2. O equipamento e outras condições experimentais correspondentes especificamente a um determinado ensaio são descritas depois, sob o título desse ensaio.

Quadro 2

condições de ensaio

Ensaio	Redução gradual de COD	Libertação de CO ₂	Respirometria manométrica	Despiste da OCDE modificado	Frasco fechado	M1T1 (l)
Concentração da substância de ensaio						
mg/l			100		2–10	100
mg COD/l	10–40	10–20		10–40		
mg CTeO/l			50–100		5–10	
Concentração do inóculo (em células/l, aproximadamente)	≤ 30 mg/l SS ou ≤ 100 ml de efluente/l (10 ⁷ – 10 ⁸)			0,5 ml de efluente secundário/l (10 ⁵)	< 5 ml de efluente/l (10 ⁴ – 10 ⁶)	30 mg/l SS (10 ⁷ – 10 ⁸)
Concentração de elementos no meio mineral (em mg/l):						
P	116				11,6	29
N	1,3				0,13	1,3
Na	86				8,6	17,2
K	122				12,2	36,5
Mg	2,2				2,2	6,6
Ca	9,9				9,9	29,7
Fe	0,05–0,1				0,05–0,1	0,15
pH	7,4 ± 0,2					preferencialmente 7,0

Ensaio	Redução gradual de COD	Libertação de CO ₂	Respirometria manométrica	Despiste da OCDE modificado	Frasco fechado	MITI (l)
Temperatura	22 ± 2°C					25 ± 1°C
COD = Carbono Orgânico Dissolvido			CTeO = Carência Teórica de Oxigénio		SS =	

I.6.1. Água de diluição

É usada água desionizada ou destilada, livre de substâncias tóxicas (por exemplo iões Cu⁺ +) em concentrações inibidoras. Não deve conter mais do que 10 % do teor de carbono orgânico introduzido pela substância de ensaio. É necessária uma elevada pureza para a água de ensaio para evitar um elevado número de valores em branco. A contaminação pode resultar de impurezas inerentes e também de resinas de permuta iónica e do material lisado de bactérias e algas. Para cada série de ensaios utiliza-se apenas um lote de água, controlada previamente por análise do COD. Tal controlo não é necessário no teste do frasco fechado, mas o consumo de oxigénio da água deve ser baixo.

I.6.2. Soluções de reserva de componentes minerais

Para se preparar as soluções de ensaio recorre-se a utilização de soluções de reserva com concentrações apropriadas de componentes minerais. É possível utilizar as seguintes soluções de reserva (com diversos factores de diluição) para os métodos de redução gradual do COD, despiste da OCDE modificado, libertação de CO₂, respirometria manométrica, ensaio em frasco fechado.

Os factores de diluição e, no caso do ensaio de MITI, a preparação específica do meio mineral, são indicados sob os títulos dos ensaios específicos.

Soluções de reserva:

Preparam-se as seguintes soluções de reserva utilizando reagentes da qualidade analítica.

a)	Dihidrogeno-ortofosfato monopotássico, KH ₂ PO ₄	8,50 g
	Monohidrogeno-ortofosfato dipotássico, K ₂ HPO ₄	21,75 g
	Monohidrogeno-ortofosfato dissódico dihidratado, Na ₂ HPO ₄ · 2H ₂ O	33,40 g
	Cloreto de amónio, NH ₄ Cl	
	Dissolver em água e ajustar até ao volume de 1 litro. O pH da solução deverá ser 7,4;	
b)	Cloreto de cálcio anidro, CaCl ₂	27,50 g
	ou cloreto de cálcio dihidratado, CaCl ₂ · 2H ₂ O	36,40 g
	Dissolver em água e ajustar o volume até 1 litro;	
c)	Sulfato de magnésio heptahidratado, MgSO ₄ · 7H ₂ O	22,50 g
	Dissolver em água e ajustar o volume até 1 litro;	
d)	Cloreto de ferro (III) hexahidratado, FeCl ₃ · 6H ₂ O	0,25 g
	Dissolver em água e ajustar o volume até 1 litro.	

Nota: Para não se ter de preparar esta solução imediatamente antes da sua utilização adiciona-se-lhe uma gota de HCl concentrado ou 0,4 g do sal dissódico do ácido etilenodiaminatetracético (EDTA) por litro.

I.6.3. Soluções de reserva das substâncias químicas

Quando a solubilidade for superior a 1 g/l, dissolver 1-10 g, por exemplo, conforme for apropriado, da substância química de ensaio ou de referência em água desionizada e ajustar o volume a 1 litro. Caso contrário, preparar soluções de reserva em meio mineral e adicionar a substância química directamente ao meio mineral. Para o caso de substâncias químicas de menor solubilidade veja-se o apêndice 3; no teste do MITI (método C.4-F) não serão utilizados nem solventes nem agentes emulsionantes.

I.6.4. Inóculos

O inóculo pode ser obtido a partir de uma diversidade de origens: lamas activadas, efluentes de esgotos (não clorados), solos e águas superficiais ou a partir de uma mistura dessas origens. Para os ensaios de redução gradual do COD, de libertação de CO₂ e de respirometria manométrica, no caso de se utilizarem lamas activadas estas devem ser obtidas a partir de uma estação de tratamento ou de uma unidade laboratorial que receba essencialmente águas residuais domésticas. Verificou-se que os inóculos provenientes de outras origens provocam uma maior dispersão de resultados. Nos ensaios de despiste da OCDE modificado e de frasco fechado é necessário um inóculo mais diluído, sem partículas de lama, sendo a fonte preferencial um efluente secundário proveniente de uma estação de tratamento de resíduos domésticos ou de uma unidade laboratorial. No caso do ensaio de MITI, o inóculo provém de uma mistura de origens, sendo descrito sob o título do ensaio específico.

I.6.4.1. Inóculo de lamas activadas

Recolher uma amostra de lamas activadas recentes, provenientes de um tanque de arejamento de uma estação de tratamento de esgotos ou de uma unidade laboratorial que trate essencialmente esgotos domésticos. Remover as partículas grosseiras, se necessário por filtração através de um crivo fino, e manter posteriormente as lamas em estado aeróbio.

Em alternativa, deixar sedimentar ou centrifugar (por exemplo, a 1 100 g durante 10 minutos) depois da remoção de todas as partículas grosseiras. Rejeitar o sobrenadante. As lamas podem ser lavadas em meio mineral. Preparar uma suspensão das lamas concentradas em meio mineral, para se obter uma concentração de 3-5 g de sólidos em suspensão/l e efectuar o arejamento enquanto for necessário.

As lamas devem ser obtidas a partir de uma adequada estação de tratamento. Se as lamas forem obtidas de uma estação de tratamento de grandes caudais ou nas quais se admite a presença de inibidores, devem ser lavadas. Deixar sedimentar ou centrifugar as lamas da nova suspensão após mistura profunda, rejeitar o sobrenadante e preparar outra suspensão das lamas lavadas num novo volume de meio mineral. Repetir este procedimento até se concluir que as lamas não possuem inibidor ou substrato em excesso.

Depois de se ter obtido uma nova suspensão, ou quando se utilizam lamas não tratadas, retirar uma amostra imediatamente antes da sua utilização para determinação do resíduo seco correspondente às substâncias sólidas em suspensão.

Outra alternativa consiste em homogeneizar as lamas activadas (3-5 g de sólidos em suspensão/l). Tratar as lamas num misturador mecânico durante 2 minutos, a uma velocidade média. Deixar sedimentar a mistura de lamas durante 30 minutos ou durante um período mais longo, se necessário, e decantar o líquido para utilização como inóculo na proporção de 10 ml/l de meio mineral.

I.6.4.2. Outras fontes de inóculo

Este pode ser obtido a partir de um efluente secundário de uma estação de tratamento ou de uma unidade laboratorial que receba essencialmente resíduos domésticos. Recolher uma amostra fresca e conservá-la aerobicamente durante o transporte. Deixar sedimentar durante uma hora ou filtrar através de papel de filtro para partículas grosseiras e conservar aerobicamente o efluente decantado ou o filtrado, enquanto for necessário. Pode utilizar-se até 100 ml deste tipo de inóculo para cada litro de meio.

As águas superficiais constituem uma fonte adicional de inóculo. Nesse caso, recolher uma amostra de uma água superficial adequada, por exemplo, dos rios ou dos lagos e conservá-la em estado aeróbio enquanto for necessário. Se tal se justificar, concentrar o inóculo por filtração ou por centrifugação.

I.6.5. Pré-condicionamento dos inóculos

Os inóculos podem ser pré-condicionados para as condições experimentais mas não podem ser pré-adaptados à substância química de ensaio. O pré-condicionamento consiste em arejar as lamas activadas em meio mineral ou efluente secundário durante cinco a sete dias, à temperatura de ensaio. Por vezes, o pré-condicionamento melhora a precisão dos métodos de ensaio pelo facto de reduzir os valores dos brancos. É desnecessário pré-condicionar o inóculo para o método de MITI.

I.6.6. Controlos abióticos

Sempre que necessário, verificar a possível degradação abiótica da substância de ensaio, determinando a remoção do COD, o consumo de oxigénio ou a libertação de dióxido de carbono em controlos estéreis que não contenham inóculo. Esterilizar por filtração através de uma membrana (0,2- 0,45 micron) ou adicionando uma substância tóxica adequada numa concentração conveniente. Se é usada membrana de filtração, colhem-se as amostras assepticamente para que se mantenha a esterilidade. A menos que se tenha excluído previamente a adsorção da substância de ensaio, os testes para a medição da biodegradação por remoção do COD, especialmente com inóculo de lamas activas, deverão incluir um controlo abiótico, o qual é inoculado e contaminado.

I.6.7. Número de frascos

O número de frascos numa experiência-tipo é descrito nos títulos de cada ensaio.

Podem usar-se os seguintes tipos de frascos:

- suspensão de ensaio: substância de ensaio e inóculo,
- branco de inóculo: somente o inóculo,
- controlo do processo: substância de referência e inóculo,
- controlo abiótico estéril: substância de ensaio, estéril (ver ponto I.6.6),
- controlo de adsorção: substância de ensaio, inóculo e agente esterilizante,
- controlo de toxicidade: substância de ensaio, substância de referência e inóculo.

As determinações na suspensão de ensaio e no branco do inóculo deverão obrigatoriamente ser feitas em paralelo. É também aconselhável fazer as determinações noutro frasco, em paralelo.

Todavia, isto nem sempre é possível. Garantir que são preparadas amostras suficientes ou efectuadas leituras suficientes de modo que possa avaliar-se a remoção percentual no período dos 10 dias.

I.7. RESULTADOS E AVALIAÇÃO

No cálculo do valor D_t , degradação percentual, utilizam-se os valores médios das medições em duplicado dos parâmetros tanto nos recipientes de ensaio como no branco do inóculo. As fórmulas são apresentadas a seguir, nas secções correspondentes sobre os ensaios específicos. A evolução da degradação é representada graficamente, sendo indicado o período dos 10 dias. Calcular e registar a remoção percentual alcançada no final do período dos 10 dias e o valor no patamar ou no final do ensaio, conforme o caso.

Nos ensaios respirométricos os compostos que contêm azoto podem afectar o consumo de oxigénio, devido a fenómenos de nitrificação (ver os apêndices 2 e 5).

I.7.1. Degradação medida através da determinação do COD

Para o cálculo da percentagem de degradação (D_t), é colhida uma amostra num dado momento, o qual deverá ser calculado separadamente para cada um dos frascos que contêm a substância a testar, usando os valores médios das medições em duplicado do COD, com o fim de se poder avaliar a validade do teste (ver ponto I.5.2). Para o cálculo usa-se a seguinte equação:

$$D_t = \left(1 - \frac{C_t - C_{bt}}{C_o - C_{bo}} \right) \times 100$$

em que:

D_t = % de degradação no momento t ,

C_o = concentração média inicial de COD no meio de cultura inoculado que contém a substância de ensaio (mg de COD/l),

C_t = concentração média de COD no meio de cultura inoculado que contém a substância de ensaio, no momento t (mg de COD/l),

C_{bo} = concentração média inicial de COD no branco de meio mineral inoculado (mg de COD/l),

C_{bt} = concentração média de COD no branco de meio mineral inoculado no momento t (mg de COD/l).

Todas as concentrações são medidas experimentalmente.

I.7.2. Degradação medida através de análise específica

No caso de existirem dados analíticos específicos, calcular a biodegradação primária pela fórmula:

$$D_t = \frac{S_b - S_a}{S_b} \times 100$$

em que:

D_t = % de degradação no momento t, normalmente após 28 dias,

S_a = quantidade residual de substância de ensaio no meio inoculado no final do ensaio (mg),

S_b = quantidade residual de substância de ensaio no teste em branco que utiliza água/meio a que apenas se adicionou a substância de ensaio (mg).

I.7.3. Degradação abiótica

Quando é usado um controlo estéril abiótico, usa-se para o cálculo da percentagem de degradação abiótica, a fórmula seguinte:

$$\% \text{ de degradação abiótica} = \frac{C_{s(o)} - C_{s(t)}}{C_{s(o)}} \times 100$$

em que:

$C_{s(o)}$ = concentração COD no controlo estéril no dia zero,

$C_{s(t)}$ = concentração COD no controlo estéril no dia t.

I.8. RELATÓRIO

O relatório de ensaio deverá conter, se possível, as informações seguintes:

- substâncias químicas de ensaio e de referência e o seu grau de pureza,
- condições de ensaio,
- inóculo: natureza e locais de amostragem, concentração e qualquer tratamento de pré-condicionamento,
- proporção e natureza dos resíduos industriais existentes nas águas residuais, se forem conhecidas,
- duração e temperatura do ensaio,
- nos casos das substâncias químicas de ensaio pouco solúveis, qual o tratamento efectuado,
- método de ensaio aplicado; deverão ser apresentadas e explicadas as razões científicas de qualquer modificação de procedimento,
- folha de dados,
- qualquer fenómeno de inibição observado,
- qualquer degradação abiótica observada,
- dados analíticos químicos específicos, se os houver,
- dados analíticos químicos sob intermediários, se os houver,

- o gráfico da degradação percentual em função do tempo para as substâncias de ensaio e de referência, a fase de latência, a fase de degradação, o período dos 10 dias e o declive, deverão ser claramente indicados (apêndice 1). Se o teste foi sujeito a um critério de validade, as percentagens médias de degradação nos frascos com a substância de ensaio podem ser usadas para o gráfico,
- a remoção percentual depois do período dos 10 dias, e no patamar ou no final do ensaio.

PARTE II. ENSAIO DA REDUÇÃO GRADUAL DO COD (método C.4-A)

II.1. PRINCÍPIO DO MÉTODO

Ao abrigo da luz ou sob luz difusa e à temperatura de 22 ± 2 °C faz-se o arejamento de um determinado volume de meio mineral inoculado, contendo uma concentração conhecida da substância de ensaio (10-40 mg COD/l) como única fonte nominal de carbono orgânico.

Acompanha-se a degradação por análise frequente do COD ao longo de um período de 28 dias. Calcula-se o grau de biodegradação, exprimindo a concentração de COD removido (corrigida em função do branco de inóculo de controlo) em percentagem da concentração inicialmente presente. O grau de biodegradação primária também pode ser calculado através de uma análise química complementar efectuada no início e no fim da incubação.

II.2. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

II.2.1. Equipamento

- a) Frascos cónicos, por exemplo, com capacidade entre 250 ml e 2 l, consoante o volume necessário para a análise do COD;
- b) Máquina agitadora — para os frascos cónicos, com controlo automático de temperatura ou, em alternativa, utilizada a uma temperatura ambiente constante, e com potência suficiente para manter condições aeróbias em todos os frascos;
- c) Equipamento de filtração, com membranas adequadas;
- d) Analisador de COD;
- e) Equipamento para determinar o oxigénio dissolvido;
- f) Centrifugadora.

II.2.2. Preparação do meio mineral

Para a preparação da solução de reserva, ver ponto I.6.2.

Misturar 10 ml de solução (a) com 800 ml de água de diluição, adicionar 1 ml das soluções (b) a (d) e ajustar o volume a 1 litro com água de diluição.

II.2.3. Preparação e pré-condicionamento do inóculo

O inóculo pode ser obtido de várias origens: lamas activadas; efluentes de esgotos; águas de superfície; solos ou misturas destes.

Ver pontos I.6.4, I.6.4.1, I.6.4.2 e I.6.5.

II.2.4. Preparação dos frascos

A título de exemplo, introduzir quantidades de 800 ml de meio mineral em frascos cónicos com a capacidade de 2 litros e adicionar volumes suficientes das soluções de reserva que contêm as substâncias de ensaio e de referência a frascos separados, para se obter uma concentração de substância química equivalente a 10-40 mg de COD/l. Controlar os valores do pH e ajustá-los, se necessário, para 7,4. Inocular os frascos com lamas activadas ou com outra fonte de inóculos (ver ponto I.6.4), para se obter uma concentração final não superior a 30 mg de sólidos em suspensão/l. Preparar também os controlos de inóculo em meio mineral mas sem a substância química de ensaio ou de referência.

Se necessário, utilizar um recipiente para verificação do possível efeito inibidor da substância química de ensaio, inoculando uma solução que contenha, num meio mineral, concentrações comparáveis das substâncias químicas de ensaio e de referência.

Ainda no caso de ser necessário, preparar outro frasco estéril para verificar se a substância química de ensaio se degrada abioticamente, utilizando uma solução não inoculada contendo a substância química (ver ponto I.6.6).

Para além disso, no caso de se suspeitar que a substância química de ensaio é significativamente adsorvida pelo vidro, lamas, etc., efectuar uma avaliação preliminar para se determinar o grau provável da adsorção e, consequentemente, se determinar se o ensaio é adequado à substância química (ver quadro 1). Preparar um frasco com a substância de ensaio, o inóculo e o agente esterilizante.

Ajustar os volumes em todos os frascos a 1 litro, utilizando meio mineral e, depois de se misturar, retirar uma amostra de cada frasco para determinar a concentração inicial de COD (ver apêndice 2.4). Tapar as aberturas dos frascos, por exemplo com folha de alumínio, de modo a permitir a permuta livre de ar entre o frasco e a atmosfera envolvente. Colocar depois os recipientes na máquina agitadora e iniciar o ensaio.

II.2.5. **Número de frascos numa experiência-tipo**

De preferência:

Frascos 1 e 2: suspensão de ensaio;

Frascos 3 e 4: branco do inóculo;

Frasco 5: controlo.

Se necessário, ainda:

Frasco 6: controlo abiótico estéril;

Frasco 7: controlo da adsorção;

Frasco 8: controlo da toxicidade.

Ver ponto I.6.7.

II.2.6. **Realização do ensaio**

Ao longo do ensaio, determinar as concentrações de COD em cada frasco em duplicado, a intervalos de tempo conhecidos suficientemente frequentes que permitam determinar o início do período dos 10 dias e a remoção percentual no final do período dos 10 dias. Utilizar apenas o volume mínimo de suspensão de ensaio necessário para cada determinação.

Antes da colheita de amostras, repor as perdas dos frascos por evaporação, adicionando água de diluição (ponto I.6.1) na quantidade requerida, se for necessário. Homogeneizar o meio de cultura antes de se retirar a amostra e garantir que o material aderente às paredes dos recipientes é dissolvido ou se mantém em suspensão antes da colheita de amostras. Filtrar através de membranas ou centrifugar (ver apêndice 2.4), imediatamente após a colheita de amostras. Analisar no mesmo dia as amostras filtradas ou centrifugadas ou, caso contrário, armazená-las à temperatura de 2-4°C durante um período máximo de 48 horas, ou a uma temperatura inferior a - 18°C no caso de um período mais longo.

II.3. **RESULTADOS E RELATÓRIO**

II.3.1. **Tratamento dos resultados**

Calcular a percentagem de degradação no momento t conforme referido no ponto I.7.1 (determinação do COD) e, facultativamente, conforme referido no ponto I.7.2 (análise específica).

Registar todos os resultados nas folhas de dados fornecidas.

II.3.2. **Validade dos resultados**

Ver ponto I.5.2.

II.3.3. **Relatório**

Ver ponto I.8.

II.4. FOLHA DE DADOS

Como exemplo de folha de dados apresenta-se a seguinte:

ENSAIO DE REDUÇÃO GRADUAL DO COD

1. **LABORATÓRIO**2. **DATA DO INÍCIO DO ENSAIO**3. **SUBSTÂNCIA DE ENSAIO**

Nome:

Concentração da solução de reserva: ... mg/l da substância

Concentração inicial no meio, t_0 : ... mg/l da substância

4. **INÓCULO**

Origem:

Tratamento efectuado:

Pré-condicionamento, se o houver:

Concentração das substâncias sólidas em suspensão na mistura reaccional: mg/l

5. **DETERMINAÇÕES DE CARBONO**

Analizador de carbono:

	Nº do frasco		COD decorridos n dias (mg/l)				
			0	n_1	n_2	n_3	n_x
Substância química de ensaio e inóculo	1	a_1					
		a_2					
		a, média $C_{a(t)}$					
	2	b_1					
		b_2					
		b, média $C_{b(t)}$					

	Nº do frasco		COD decorridos n dias (mg/l)				
			0	n ₁	n ₂	n ₃	n _x
Branco de inóculo sem substância de ensaio	3	c ₁					
		c ₂					
		c, média C _{c(t)}					
	4	d ₁					
		d ₂					
		d, média C _{d(t)}					
	$C_{bl(t)} = \frac{C_{c(t)} + C_{d(t)}}{2}$						

6. AVALIAÇÃO DOS DADOS BÁSICOS

Nº do frasco		% de degradação decorridos n dias				
		0	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄
1	$D_1 = \left(1 - \frac{C_{a(t)} - C_{bl(t)}}{C_{a(o)} - C_{bl(o)}}\right) \times 100$	0				
2	$D_2 = \left(1 - \frac{C_{b(t)} - C_{bl(t)}}{C_{b(o)} - C_{bl(o)}}\right) \times 100$	0				
Média (*)	$D = \frac{D_1 - D_2}{2}$	0				

(*) D₁ e D₂ não devem ser ponderados, se há uma diferença considerável.

Nota: É possível utilizar fórmulas idênticas para a substância química de referência e para os controlos de toxicidade.

7. CONTROLO ABIÓTICO (facultativo)

	Tiempo (días)	
	0	t
conc. de COD (mg/l) en el control estéril	C _{s(o)}	C _{s(t)}

$$\% \text{ de degradação abiótica} = \frac{C_{s(o)} - C_{s(t)}}{C_{s(o)}} \times 100$$

8. ANÁLISE QUÍMICA ESPECÍFICA (facultativa)

	Quantidade residual da substância de ensaio no final do teste (mg/l)	% degradação
Controlo estéril	S _b	

	Quantidade residual da substância de ensaio no final do teste (mg/l)	% degradação
Meio de ensaio inoculado	S_a	$\frac{S_b - S_a}{S_b} \times 100$

PARTE III. TESTE DE DESPISTE DA OCDE MODIFICADO (método C.4-B)

III.1. PRINCÍPIO DO MÉTODO

Utilizando 0,5 ml de efluente por litro de meio faz-se a inoculação de um determinado volume de meio mineral, contendo uma concentração conhecida da substância de ensaio (10-40 mg de COD/l) como única fonte nominal de carbono orgânico. Faz-se o arejamento da mistura ao abrigo da luz ou sob luz difusa, à temperatura de $22 \pm 2^\circ\text{C}$.

Acompanha-se a degradação por análise frequente do COD ao longo de um período de 28 dias. Calcula-se o grau de biodegradação, exprimindo a concentração de COD removido (corrigida em função do branco de inóculo de controlo) em percentagem da concentração inicialmente presente. O grau de biodegradação primária também pode ser calculado através de uma análise química complementar efectuada no início e no fim da incubação.

III.2. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

III.2.1. Equipamento

- Frascos cónicos, por exemplo, com capacidade entre 250 ml e 2 l, consoante o volume necessário para a análise do COD;
- Máquina agitadora — para os frascos cónicos, com controlo automático de temperatura ou, em alternativa, utilizada a uma temperatura ambiente constante, e com potência suficiente para manter condições aeróbias em todos os frascos;
- Equipamento de filtração, com membranas adequadas;
- Analizador de COD;
- Equipamento para determinar o oxigénio dissolvido;
- Centrifugadora.

III.2.2. Preparação do meio mineral

Para a preparação da solução de reserva, ver ponto I.6.2.

Misturar 10 ml de solução (a) com 800 ml de água de diluição, adicionar 1 ml das soluções (b) a (d) e ajustar o volume a 1 litro com a água de diluição.

Neste método utiliza-se como inóculo apenas 0,5 ml de efluente/litro pelo que pode ser necessário reforçar o meio com oligoelementos e factores de crescimento. Esta operação efectua-se adicionando 1 ml de cada uma das soluções a seguir indicadas por litro de meio final.

Solução de oligoelementos:

Sulfato de manganés tetrahidratado, $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	39,9 mg
Ácido bórico, H_3BO_3	57,2 mg
Sulfato de zinco heptahidratado, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	42,8 mg
Heptamolíbido de amónio, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$	34,7 mg
Quelato de Fe (FeCl_3 — ácido etilenodiaminatetracético)	100,0 mg
Dissolver e ajustar o volume a 1 000 ml com água de diluição	

Solução vitamínica:

Extracto de levedura

15,0 mg

Dissolver o extracto de levedura em 100 ml de água. Esterilizar, fazendo passar através de uma membrana de 0,2 micron ou preparar de fresco.

III.2.3. **Preparação e pré-condicionamento do inóculo**

O inóculo é derivado de um efluente secundário de uma estação de tratamento ou laboratório, que recebe predominantemente esgotos domésticos. Ver pontos I.6.4.2 e I.6.5.

Utiliza-se 0,5 ml por litro de meio mineral.

III.2.4. **Preparação dos frascos**

A título de exemplo, introduzir quantidades de 800 ml de meio mineral em frascos cónicos com a capacidade de 2 litros e adicionar volumes suficientes das soluções de reserva que contêm as substâncias de ensaio e de referência a frascos separados, para se obter uma concentração de substância química equivalente a 10-40 mg de COD/l. Controlar o valor do pH e ajustá-lo, se necessário, para 7,4. Inocular os frascos com efluente de águas residuais para se obter uma concentração de 0,5 ml/litro (ver ponto I.6.4.2). Preparar também os controlos de inóculo em meio mineral mas sem a substância química de ensaio ou de referência.

Se necessário, utilizar um recipiente para verificação do possível efeito inibidor da substância química do ensaio, inoculando uma solução que contenha, num meio mineral, concentrações comparáveis das substâncias químicas de ensaio e de referência.

Ainda se necessário, preparar outro frasco estéril para verificar se a substância química de ensaio se degrada abioticamente, utilizando uma solução não inoculada contendo a substância química (ver ponto I.6.6).

Para além disso, no caso de se suspeitar que a substância química de ensaio é significativamente adsorvida pelo vidro, lamas, etc., efectuar uma avaliação preliminar para se determinar o grau provável de adsorção e, consequentemente, se determinar se o ensaio é adequado à substância química (ver quadro 1). Preparar um frasco com a substância de ensaio, o inóculo e o agente esterilizante.

Ajustar os volumes em todos os frascos a 1 litro, utilizando meio mineral e, depois de se misturar, retirar uma amostra de cada frasco para determinar a concentração inicial de COD (ver apêndice 2.4). Tapar as aberturas dos frascos, por exemplo com folha de alumínio, de modo a permitir a permuta livre de ar entre o frasco e a atmosfera envolvente. Colocar depois os recipientes na máquina agitadora e iniciar o ensaio.

III.2.5. **Número de frascos numa experiência-tipo**

De preferência:

Frascos 1 e 2: suspensão de ensaio,

Frascos 3 e 4: branco do inóculo,

Frasco 5: controlo;

Se necessário, ainda:

Frasco 6: controlo abiótico estéril, Frasco 7: controlo da adsorção,

Frasco 8: controlo da toxicidade.

Ver ainda o ponto I.6.7.

III.2.6. **Realização do ensaio**

Ao longo do ensaio, determinar as concentrações de COD em cada frasco em duplicado, a intervalos de tempo conhecidos suficientemente frequentes que permitam determinar o início do período dos 10 dias e a remoção percentual no final do período dos 10 dias. Utilizar apenas o volume mínimo de suspensão de ensaio necessário para cada determinação.

Antes da colheita de amostras, repor as perdas dos frascos por evaporação, adicionando água de diluição (ponto I.6.1) na quantidade requerida, se for necessário. Homogeneizar o meio de cultura antes de se retirar a amostra e garantir que o material aderente às paredes dos recipientes é dissolvido ou se mantém em suspensão antes da colheita de amostras. Filtrar através de membranas ou centrifugar (ver apêndice 2.4), imediatamente após a colheita de amostras. Analisar no mesmo dia as amostras filtradas ou centrifugadas ou, caso contrário, armazená-las à temperatura de 2-4°C durante um período máximo de 48 horas, ou a uma temperatura inferior a — 18°C no caso de um período mais longo.

III.3. RESULTADOS E RELATÓRIO

III.3.1. Tratamento dos resultados

Calcular a percentagem de degradação no momento t conforme referido no ponto I.7.1 (determinação do COD) e, facultativamente, conforme referido no ponto I.7.2 (análise específica).

Registar todos os resultados nas folhas de dados fornecidas.

III.3.2. Validade dos resultados

Ver ponto I.5.2.

III.3.3. Relatório

Ver ponto I.8.

III.4. FOLHA DE DADOS

Como exemplo de folha de dados apresenta-se a seguinte:

ENSAIO DE DESPISTE DA OCDE MODIFICADO

1. LABORATÓRIO

2. DATA DO INÍCIO DO ENSAIO

3. SUBSTÂNCIA DE ENSAIO

Nome:

Concentração da solução de reserva: mg/l da substância

Concentração inicial no meio, t_0 :mg/l da substância

4. INÓCULO

Origem:

Tratamento efectuado:

Pré-condicionamento, se o houver:

Concentração das substâncias sólidas em suspensão na mistura reaccional: mg/l

5. DETERMINAÇÕES DE CARBONO

Analizador de carbono:

	Nº do frasco		COD decorridos n dias (mg/l)				
			0	n ₁	n ₂	n ₃	n _x
Substância química de ensaio e inóculo	1	a ₁					
		a ₂					
		a, média C _{a(t)}					
	2	b ₁					
		b ₂					
		b, media C _{b(t)}					
Branco de inóculo sem substância de ensaio	3	c ₁					
		c ₂					
		c, media C _{b(t)}					
	4	d ₁					
		d ₂					
		d, media C _{b(t)}					
	$C_{bl(t)} = \frac{C_{c(t)} + C_{d(t)}}{2}$						

6. AVALIAÇÃO DOS DADOS BÁSICOS

Nº do frasco		% de degradação decorridos n dias				
		0	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄
1	$D_1 = \left(1 - \frac{C_{a(t)} - C_{bl(t)}}{C_{a(o)} - C_{bl(o)}}\right) \times 100$	0				
2	$D_2 = \left(1 - \frac{C_{b(t)} - C_{bl(t)}}{C_{b(o)} - C_{bl(o)}}\right) \times 100$	0				
Média (*)	$D = \frac{D_1 + D_2}{2}$	0				

(*) D₁ e D₂ não devem ser ponderados, se há uma diferença considerável.

Nota: É possível utilizar fórmulas idênticas para a substância química de referência e para os controlos de toxicidade.

7. **CONTROLO ABIÓTICO** (facultativo)

	Tempo (dias)	
	0	t
Concentração do COD (mg/l) no controlo estéril	$C_{s(0)}$	$C_{s(t)}$

$$\% \text{ de degradação abiótica} = \frac{C_{s(0)} - C_{s(t)}}{C_{s(0)}} \times 100$$

8. **ANÁLISE QUÍMICA ESPECÍFICA** (facultativa)

	Quantidade residual da substância de ensaio no final do teste	% degradação primária
Controlo estéril	S_b	
Meio de ensaio inoculado	S^a	$\frac{S_b - S_a}{S_b} \times 100$

PARTE IV. ENSAIO DA LIBERTAÇÃO DE CO₂ (método C.4-C)

IV.1. PRINCÍPIO DO MÉTODO

às escuras ou sob luz difusa faz-se passar um caudal controlado de ar isento de dióxido de carbono, para o arejamento de um volume determinado de meio mineral inoculado, contendo uma concentração conhecida da substância química de ensaio (10-20 mg de COD ou de COT/l) como única fonte nominal de carbono orgânico. Acompanha-se a degradação ao longo de 28 dias, determinando o dióxido de carbono produzido, o qual é retido em hidróxido de bário ou em hidróxido de sódio e é medido por titulação do hidróxido residual ou na forma de carbono inorgânico. A quantidade de dióxido de carbono produzido pela substância química de ensaio (corrigida em função dos valores obtidos a partir do branco de inóculo) exprime-se em percentagem do valor CO₂Te. O grau de biodegradação também pode ser calculado por uma análise complementar do COD efectuada no início e no fim da incubação.

IV.2. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

IV.2.1. **Equipamento**

- Frascos de 2-5 litros, cada um deles munido de um tubo de arejamento que atinge as proximidades do fundo do recipiente e com uma abertura de saída;
- Agitadores magnéticos, quando se fizer a avaliação de substâncias químicas pouco solúveis;
- Frascos de absorção de gás;
- Dispositivo para controlar e medir o fluxo de ar;
- Equipamento para remoção do dióxido de carbono, para obtenção de ar isento de dióxido de carbono; em alternativa, utilizar uma mistura de oxigénio isento de CO₂ e de azoto isento de CO₂, provenientes de garrafas, nas proporções correctas (20 % de O₂; 80 % de N₂);
- Dispositivo para a determinação do dióxido de carbono, recorrendo a titulação (volumetria) ou utilizando algum tipo de analisador do carbono inorgânico;
- Dispositivo de filtração por membranas (facultativo);
- Analisador de COD (facultativo).

IV.2.2. Preparação do meio mineral

Para a preparação das soluções de reserva ver ponto I.6.2.

Misturar 10 ml de solução (a) com 800 ml de água de diluição, adicionar 1 ml das soluções (b) a (d) e ajustar o volume a 1 litro com água de diluição.

IV.2.3. Preparação e pré-condicionamento do inóculo

O inóculo pode ser obtido de várias origens: lamas activadas; efluentes de esgotos; águas de superfície; solos ou misturas destes.

Ver pontos I.6.4, I.6.4.1, I.6.4.2 e I.6.5.

IV.2.4. Preparação dos frascos

A título de exemplo, os volumes e massas a seguir indicados representam valores para frascos de 5 litros que contenham 3 litros de suspensão. No caso de se utilizarem volumes menores, modificar os correspondentes valores em conformidade mas garantir que o dióxido de carbono formado possa ser medido com exactidão.

A cada frasco de 5 litros adicionar 2 400 ml de meio mineral. Adicionar um volume adequado das lamas activadas preparadas (ver ponto I.6.4.1 e I.6.5) para se obter uma concentração de substâncias sólidas em suspensão não superior a 30 mg/l, no volume final de 3 l de mistura inoculada. Em alternativa, diluir primeiro as lamas preparadas, de modo a obter-se uma suspensão de 500-1 000 mg/l em meio mineral, antes de se adicionar uma alíquota ao conteúdo do balão de 5 litros, de modo a obter-se uma concentração de 30 mg/l; esta operação garante uma grande precisão. É possível utilizar outras fontes de inóculo (ver ponto I.6.4.2).

Arejar estas misturas inoculadas, utilizando ar isento de CO₂, durante a noite, para purgar o dióxido de carbono do sistema.

Adicionar a substância de ensaio e a substância de referência, separadamente, a partir de volumes conhecidos das soluções de reserva, a frascos idênticos repetidos, para se obterem concentrações, modificadas pelas substâncias químicas adicionadas, de 10 a 20 mg de COD ou de COT/l; não adicionar substâncias químicas a alguns dos frascos para serem utilizados como controlos do inóculo. Adicionar as substâncias químicas de ensaio pouco solúveis directamente aos frascos, tomando como base a sua massa ou volume, ou proceder conforme descrito no apêndice 3.

Se necessário, utilizar um frasco para verificar o possível efeito inibidor da substância química de ensaio, adicionando as substâncias químicas de ensaio e de referência nas mesmas concentrações dos outros frascos.

Se necessário, utilizar também um frasco estéril para verificar se a substância química de ensaio se degrada abioticamente, utilizando uma solução não inoculada da substância química (ver ponto I.6.6.). Esterilizar adicionando uma substância tóxica numa concentração adequada.

Ajustar os volumes das suspensões em todos os frascos a 3 litros, adicionando meio mineral previamente arejado com ar isento de CO₂. Facultativamente, podem retirar-se amostras para análise do COD (ver apêndice 2.4) e/ou para análises específicas. Ligar os recipientes de absorção às saídas de ar dos frascos.

No caso de se utilizar hidróxido de bário, ligar em série três frascos de absorção, contendo cada um 100 ml de uma solução de hidróxido de bário 0,0125 M, a cada frasco de 5 litros. A solução deve estar isenta de sulfatos e carbonatos precipitados e a sua concentração deve ser determinada imediatamente antes da utilização. No caso de se utilizar hidróxido de sódio, ligar dois frascos colectores, actuando o segundo como elemento de controlo para demonstrar que todo o dióxido de carbono foi absorvido no primeiro. Nos frascos de absorção as rolhas de frascos de soró são adequadas. Adicionar 200 ml de uma solução de hidróxido de sódio 0,05 M a cada frasco, quantidade que é suficiente para absorver a quantidade total de dióxido de carbono libertado até à degradação completa da substância química de ensaio. A solução de hidróxido de sódio, ainda que recentemente preparada, conterà vestígios de carbonatos; efectua-se a correcção correspondente, deduzindo os carbonatos do branco.

IV.2.5. Número de frascos numa experiência-tipo

Balão 1 e 2: suspensão de ensaio;

Balão 3 e 4: branco do inóculo;

Frasco 5: controlo.

De preferência e se necessário, ainda:

Frasco 6: controlo abiótico estéril;

Frasco 7: controlo da toxicidade.

Ver também ponto I.6.7.

IV.2.6. Realização do ensaio

Iniciar o ensaio fazendo borbulhar ar isento de CO₂ nas suspensões, com um caudal de 30-100 ml/minuto. Retirar periodicamente amostras do absorvente do dióxido de carbono, para análise do teor de CO₂. Durante os primeiros 10 dias recomenda-se que as análises sejam feitas de dois em dois ou de três em três dias e, depois, de cinco em cinco dias até ao 28.º dia, de modo que seja possível identificar o período dos 10 dias.

Ao 28.º dia, retirar amostras (facultativo) para análise do COD e/ou análises específicas, medir o pH das suspensões e adicionar a cada frasco 1 ml de ácido clorídrico concentrado; arejar os frascos durante a noite para remoção do dióxido de carbono existente nas suspensões de ensaio. No 29.º dia efectuar a última análise do dióxido de carbono libertado.

Nos dias das medições de CO₂, desligar o dispositivo de absorção de hidróxido de bário mais próximo do frasco e fazer a titulação da solução de hidróxido, utilizando HCl 0,05 M e fenolftalina como indicador. Deslocar os outros dispositivos de absorção para uma posição mais próxima do frasco e colocar um novo dispositivo de absorção, contendo 100 ml de hidróxido de bário 0,0125 M recente, na extremidade mais afastada da série. Efectuar as titulações conforme necessário, por exemplo, quando se observar uma precipitação substancial no primeiro frasco de absorção e antes que seja evidente qualquer precipitação no segundo ou logo que aí se note uma precipitação fraca. Em alternativa, utilizando NaOH como absorvente, retirar com uma seringa uma pequena amostra (depende das características do analisador de carbono utilizado) da solução de hidróxido de sódio do dispositivo de absorção mais próximo do frasco. Injectar a amostra na zona correspondente ao CI do analisador de carbono para analisar directamente o dióxido de carbono libertado.

Analisar o teor no segundo frasco de absorção apenas no final do ensaio para corrigir qualquer passagem de dióxido de carbono.

IV.3. RESULTADOS E RELATÓRIO

IV.3.1. Tratamento dos resultados

A quantidade de CO₂ retida num dispositivo de absorção, quando titulada, é dada por:

$$\text{mgCO}_2 = (100 \times C_B - 0,5 \times V \times C_A) \times 44$$

em que:

V = volume de HCl utilizado na titulação dos 100 ml existentes no dispositivo de absorção (ml),

C_B = concentração da solução de hidróxido de bário (M),

C_A = concentração da solução de ácido clorídrico (M),

se C_B for 0,0125 M e C_A for 0,05 M, a titulação, para 100 ml de hidróxido de bário, será de 50 ml, e a massa de CO₂ será dada por:

$$\frac{0,05}{2} \times 44 \times \text{ml de HCl titulado} = 1,1 \times \text{ml HCl}$$

Sendo assim, no caso presente, para se converter o volume de HCl titulado em mg de CO₂ produzido, utiliza-se o factor 1,1.

Calcular a massa do CO₂ produzido a partir do inóculo isolado e a partir do inóculo e da substância química de ensaio, utilizando os respectivos valores de titulação, correspondendo a diferença à massa de CO₂ produzido apenas a partir da substância química de ensaio.

Por exemplo, se o inóculo isoladamente conduzir a uma titulação de 48 ml e o inóculo e a substância química de ensaio conduzirem a uma titulação de 45 ml, então:

$$\text{CO}_2 \text{ proveniente do inóculo} = 1,1 \times (50-48) = 2,2 \text{ mg}$$

$$\text{CO}_2 \text{ proveniente do inóculo e da substância química de ensaio} = 1,1 \times (50-45) = 5,5 \text{ mg}$$

pelo que a massa do CO₂ produzido a partir da substância química de ensaio será de 3,3 mg.

A percentagem de biodegradação calcula-se pela expressão:

$$\% \text{ de degradação} = \frac{\text{mg de CO}_2 \text{ produzido} \times 100}{\text{CO}_2\text{Te} \times \text{mg substância química de ensaio adicionada}}$$

ou

$$\% \text{ de degradação} = \frac{\text{mg de CO}_2 \text{ produzido} \times 100}{\text{mg de COT adicionado no ensaio} \times 3,67}$$

sendo o valor 3,67 o factor de conversão (44/12) de carbono em dióxido de carbono.

Obtém-se a percentagem de degradação decorrido qualquer intervalo de tempo, somando as percentagens de CO₂Te, cujo cálculo foi efectuado em cada um dos dias até ao momento em que se faz a medição.

Para os dispositivos de absorção de hidróxido de sódio, calcular a quantidade de dióxido de carbono produzida, expressa em Cl (mg), multiplicando a concentração de Cl no absorvente pelo volume desse absorvente.

Calcular a percentagem de degradação pela expressão:

$$\% \text{ de CO}_2\text{Te} = \frac{\text{mg Cl do frasco de ensaio} - \text{mg Cl do branco}}{\text{MG COT adicionado como substância química de ensaio}} \times 100$$

Calcular as variações de COD (facultativo) conforme descrito no ponto I.7. Registrar este e todos os outros resultados na folha de dados fornecida.

IV.3.2. **Validade dos resultados**

O teor de Cl da suspensão da substância química de ensaio em meio mineral, no início do ensaio, deve ser inferior a 5 % do valor do CT, e a libertação total de CO₂ no branco de inóculo, no final do ensaio, não deve normalmente exceder 40 mg/l de meio. No caso de serem obtidos valores superiores a 70 mg de CO₂/l, deverá fazer-se uma análise crítica dos resultados e da técnica experimental.

Ver também o ponto I.5.2.

IV.3.3. **Relatório**

Ver ponto I.8.

IV.4. **FOLHA DE DADOS**

Como exemplo de uma folha de dados apresenta-se a seguinte.

ENSAIO DA LIBERTAÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO

1. **LABORATÓRIO**

2. **DATA DO INÍCIO DO ENSAIO**

3. SUBSTÂNCIA DE ENSAIO

Nome:

Concentração da solução de reserva: mg/l da substância

Concentração inicial no meio: mg/l da substância

C total adicionado ao frasco: mg de C

CO₂Te: mg de CO₂**4. INÓCULO**

Origem:

Tratamento efectuado:

Pré-condicionamento, se o houver:

Concentração das substâncias sólidas em suspensão na mistura reaccional: mg/l

5. PRODUÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO E DEGRADABILIDADEMétodo: Ba(OH)₂/NaOH/outro ...

Tempo (dia)	CO ₂ formado ensio (mg)		CO ₂ formado branco (mg)		CO ₂ formado acumulado (mg) (ensaio menos branco)		% de CO ₂ Te $\frac{\text{CO}_2 \text{ acumulado}}{\text{ThCO}_2} \times 100$		
	1 2	média	3 4	média	1	2	1	2	média
0									
n ₁									
n ₂									
n ₃									
28									

Nota: Podem ser utilizados esquemas idênticos para a substância química de referência e para os controlos de toxicidade.

6. ANÁLISE DO CARBONO (facultativa)

Analizador de carbono:

Tempo (dia)	Branco mg/l	Substância química de ensaio mg/l
0	C _{b(o)}	C _o
28 (*)	C _{b(t)}	C _t

(*) ou no final da incubação.

$$\% \text{ de COD removido} = \left(1 - \frac{C_t - C_{b(t)}}{C_o - C_{b(o)}} \right) \times 100$$

7. **DEGRADAÇÃO ABIÓTICA** (facultativo)

$$\% \text{ de degradação abiótica} = \frac{\text{formação de CO}_2 \text{ em frasco estéril decorridos ki dias (mg)}}{\text{CO}_2\text{Te (mg)}} \times 100$$

PARTE V. **ENSAIO DE RESPIROMETRIA MANOMÉTRICA** (método C.4-D)

V.1. **PRINCÍPIO DO MÉTODO**

Agita-se um volume determinado de meio mineral inoculado, contendo uma concentração conhecida da substância química de ensaio (substância de ensaio na concentração de 100 mg/l, para dar pelo menos 50-100 mg de CTeO/l) como única fonte nominal de carbono orgânico, num frasco fechado, a uma temperatura constante ($\pm 1^\circ\text{C}$ ou mais precisa), durante um período de 28 dias. Determina-se o consumo de oxigénio, medindo a quantidade de oxigénio (produzido electroliticamente) necessária para manter constante o volume de gás no frasco do respirómetro, ou, em alternativa, recorrendo à variação de volume ou de pressão (ou a uma combinação de ambas) no aparelho. O dióxido de carbono libertado é absorvido por uma solução de hidróxido de potássio ou por outro absorvente adequado. A quantidade de oxigénio consumida pela substância química de ensaio (corrigida em função do consumo paralelo do branco de inóculo) exprime-se em percentagem de CTeO ou CQO. Facultativamente, a biodegradação primária também pode ser calculada através de uma análise específica suplementar, efectuada no início e no fim da incubação, e a biodegradação total por análise do COD.

V.2. **DESCRIÇÃO DO MÉTODO**

V.2.1. **Equipamento**

- a) Respirómetro adequado;
- b) Controlo de temperatura, a $\pm 1^\circ\text{C}$ ou mais precisa;
- c) Dispositivo de filtração por membranas (facultativo);
- d) Analisador de carbono (facultativo).

V.2.2. **Preparação do meio mineral**

Para a preparação das soluções de reserva ver ponto I.6.2.

Misturar 10 ml da solução (a) com 800 ml de água de diluição, adicionar 1 ml das soluções (b) a (d) e ajustar o volume a 1 litro com água de diluição.

V.2.3. **Preparação e pré-condicionamento do inóculo**

O inóculo pode ser obtido de várias origens: lamas activadas; efluentes de esgotos; águas de superfície; solos ou misturas destes.

Ver pontos I.6.4, I.6.4.1, I.6.4.2 e I.6.5.

V.2.4. **Preparação dos frascos**

Preparar soluções das substâncias químicas de ensaio e de referência, em lotes separados, em meio mineral, com uma concentração, em geral, de 100 mg de substância química/l, para dar pelo menos 50-100 mg de CTeO/l, utilizando as soluções de reserva.

Calcular o valor de CTeO com base na formação de sais de amónio, a não ser que se preveja a existência de nitrificação, caso em que o cálculo deverá basear-se na formação de nitrato (ver apêndice 2.2).

Determinar os valores do pH e, se necessário, ajustá-los a $7,4 \pm 0,2$.

As substâncias pouco solúveis devem ser adicionadas numa fase posterior (ver adiante).

No caso de se pretender determinar a toxicidade da substância química de ensaio, preparar outra solução em meio mineral, contendo as substâncias químicas de ensaio e de referência em concentrações idênticas às das soluções individuais.

Se for necessário efectuar a medição do consumo físico-químico de oxigénio, preparar uma solução da substância química de ensaio, normalmente na concentração de 100 mg de CTeO/l, previamente esterilizada por adição de uma substância tóxica adequada (ver I.6.6).

Introduzir o volume necessário das soluções das substâncias de ensaio e de referência nos frascos correspondentes, pelo menos em duplicado. Adicionar a outros frascos apenas meio mineral (para os controlos de inóculo) e, se necessário, a solução mista das substâncias químicas de ensaio/referência e a solução estéril.

Se a substância química de ensaio for pouco solúvel, adicioná-la directamente nesta fase, tomando como base a massa ou o volume, ou proceder conforme descrito no apêndice 3. Adicionar hidróxido de potássio, grânulos de soda ou outro absorvente aos compartimentos do dispositivo de absorção de CO₂.

V.2.5. **Número de frascos numa experiência-tipo**

De preferência:

Frascos 1 e 2: suspensão de ensaio;

Frascos 3 e 4: branco do inóculo;

Frasco 5: controlo;

Se necessário, ainda:

Frasco 6: controlo abiótico estéril;

Frasco 7: controlo da toxicidade.

Ver também o ponto I.6.7.

V.2.6. **Realização do ensaio**

Deixar que os recipientes atinjam a temperatura desejada e inocular os recipientes adequados com as lamas activadas preparadas ou com outra fonte de inóculo, para se obter uma concentração de substâncias sólidas em suspensão não superior a 30 mg/l. Montar o equipamento, iniciar a agitação, verificar a estanquidade e começar a medir o consumo de oxigénio. Normalmente, não é necessária maior atenção do que efectuar as leituras necessárias e efectuar verificações diárias para se poder actuar no sentido de se manter a temperatura correcta e uma agitação adequada.

Calcular o consumo de oxigénio a partir das leituras efectuadas a intervalos de tempo regulares e frequentes, utilizando os métodos fornecidos pelo fabricante do equipamento. No final da incubação, normalmente decorridos 28 dias, medir o valor do pH do conteúdo dos frascos, especialmente no caso de os consumos de oxigénio serem baixos ou superiores ao valor da CTeO_{NH4} (para os compostos que contêm azoto).

Se necessário, retirar amostras dos frascos do respirómetro, na fase inicial e na fase final, para análise do COD ou da substância química específica (ver apêndice 2.4). No momento da recolha da amostra inicial, garantir que se conhece o volume da suspensão de ensaio que permanece no frasco. Quando o oxigénio é consumido por uma substância de ensaio que contenha azoto, determinar o acréscimo da concentração de nitrito e de nitrato ao longo de 28 dias e calcular a correcção decorrente do oxigénio consumido por nitrificação (apêndice 5).

V.3. **RESULTADOS E RELATÓRIO**

V.3.1. **Tratamento dos resultados**

Dividir o consumo de oxigénio (mg) da substância química de ensaio decorrido um determinado período (corrigido em função do branco de inóculo de controlo correspondente ao mesmo período) pela massa da substância química de ensaio utilizada. Deste modo, obtém-se o valor CBO, expresso em mg de oxigénio/mg de substância química de ensaio, ou seja:

$$\text{CBO} = \frac{(\text{mg O}_2 \text{ consumido pela subst. de ensaio} - \text{mg O}_2 \text{ consumido pelo branco})}{(\text{mg de substância de ensaio no frasco})}$$

= mg de O₂ por mg de substância de ensaio no frasco

Calcula-se a percentagem de biodegradação pela expressão:

$$\% \text{ de biodegradação} = \% \text{ CTeO} = \frac{\text{CBO}(\text{mg O}_2/\text{mg de substância química})}{\text{CTeO}(\text{mg O}_2 \text{ de substância química})} \times 100$$

ou pela expressão:

$$\% \text{ CQO} = \frac{\text{CBO}(\text{mg O}_2/\text{mg de substância química})}{\text{CQO}(\text{mg O}_2 \text{ de substância química})} \times 100$$

Note-se que estes dois métodos não conduzirão necessariamente ao mesmo valor, sendo preferível utilizar o primeiro.

Utilizar o valor apropriado da CTeO (NH₄ ou NO₃), consoante se conheça ou se preveja a ocorrência da nitrificação (apêndice 2.2). Se ocorrer nitrificação mas esta não for completa, calcular a correcção decorrente do oxigénio consumido por nitrificação, a partir das variações na concentração de nitrito e nitrato (apêndice 5).

Quando se fazem determinações facultativas de carbono orgânico e/ou de substâncias químicas específicas, calcular a percentagem de degradação conforme descrito no ponto I.7.

Registar todos os resultados nas folhas de dados anexas.

V.3.2. **Validade dos resultados**

O consumo de oxigénio pelo branco de inóculo é, normalmente, de 20-30 mg de O₂/l e não deverá ser superior a 60 mg/l em 28 dias. Os valores superiores a 60 mg/l exigem uma análise crítica dos resultados e das técnicas experimentais. Se o valor do pH estiver fora do intervalo 6-8,5 e se o consumo de oxigénio pela substância química de ensaio for inferior a 60 %, o ensaio deve ser repetido com uma concentração inferior de substância química de ensaio.

Ver também o ponto I.5.2.

V.3.3. **Relatório**

Ver ponto I.8.

V.4. **FOLHA DE DADOS**

Como exemplo de folha de dados apresenta-se a seguinte:

ENSAIO DE RESPIROMETRIA MANOMÉTRICA

1. **LABORATÓRIO**
2. **DATA DO INÍCIO DO ENSAIO**
3. **SUBSTÂNCIA DE ENSAIO**

Nome:

Concentração da solução de reserva: ... mg/l

Concentração inicial no meio, C_0 : ...mg/l

Volume no frasco de ensaio (V): ...ml

CTeO ou CQO: ...mg O_2 /mg de substância de ensaio (NH_4 , NO_3)

4. INÓCULO

Origem: ...

Tratamento efectuado: ...

Pré-condicionamento, se o houver: ...

Concentração das substâncias sólidas em suspensão na mistura reaccional: ...mg/l

5. CONSUMO DE OXIGÉNIO: BIODEGRADABILIDADE

		Tempo (días)											
		0		7		14			21			28	
O_2 consumido (mg), substância de ensaio	1												
	2												
	a, média												
O_2 consumido (mg) branco	3												
	4												
	b, média												
CBO corrigida (mg)	$(a_1 - b_m)$												
	$(a_2 - b_m)$												
CBO por mg de substância de ensaio	$\frac{(a_1 - b)}{C_0 V}$												
	$\frac{(a_2 - b)}{C_0 V}$												
% degradação CBO $\frac{CBO}{CTeO} \times 100$	$D_1 (a_1)$												
	$D_2 (a_2)$												
	Média (*)												

V = volume de meio no frasco de ensaio.

(*) D_1 e D_2 não devem ser ponderados, se há uma diferença considerável.

N.B: Podem ser utilizados esquemas idênticos para a substância química de referência e para os controlos de toxicidade.

6. **CORRECÇÃO PARA A NITRIFICAÇÃO** (ver apêndice 5)

Dia	0	28	Diferença
i) Concentração de nitrato (mg N/l)			(N)
ii) Equivalente de oxigénio (4,57 X N x V) (mg)	—	—	
iii) Concentração de nitrito (mg N/l)			(N)
iv) Equivalente de oxigénio (3,43 x N X V) (mg)	—	—	
ii) + iv) Total de equivalente de oxigénio	—	—	

7. **ANÁLISE DO CARBONO** (facultativa)

Analizador de carbono:

Tempo (dia)	Branco mg/l	Substância química de ensaio mg/l
0	$C_{b(o)}$	C_o
28 (*)	$C_{b(t)}$	C_t

(*) ou no final da incubação.

$$\% \text{ de COD removido} = \left(1 - \frac{C_t - C_{b(t)}}{C_o - C_{b(o)}} \right) \times 100$$

8. **SUBSTÂNCIA QUÍMICA ESPECÍFICA** (facultativo)

S_b = concentração no controlo físico-químico (estéril) decorridos 28 dias,

S_a = concentração no frasco inoculado decorridos 28 dias,

$$\% \text{ de biodegradação} = \frac{S_b - S_a}{S_b} \times 100$$

9. **DEGRADAÇÃO ABIÓTICA** (facultativo)

a = consumo de oxigénio em frascos estéreis decorridos 28 dias (mg)

$$\text{consumo de oxigénio por mg de substância química de ensaio} = \frac{a \times 100}{C_o V}$$

(ver secções 1 e 3),

$$\% \text{ de degradação abiótica} = \frac{a \times 100}{C_o V \times C_{TeO}}$$

PARTE VI. **ENSAIO EM FRASCO FECHADO** (método C.4-E)VI.1. **PRINCÍPIO DO MÉTODO**

Faz-se a inoculação da solução da substância química de ensaio em meio mineral, normalmente na concentração de 2-5 mg/l, utilizando um número relativamente pequeno de microorganismos provenientes de uma população mista e mantém-se em frascos fechados, completamente cheios, ao abrigo da luz e a uma temperatura constante. Acompanha-se a degradação pela análise do oxigénio dissolvido ao longo de um período de 28 dias. A quantidade de oxigénio consumido pela substância química de ensaio, corrigida em função do consumo paralelo do branco de inóculo, exprime-se em percentagem dos valores C_{TeO} ou C_{QO} .

VI.2. DESCRIÇÃO DO MÉTODO**VI.2.1. Equipamento**

- a) Frascos para CBO com rolhas de vidro, por exemplo, com a capacidade de 250-300 ml;
- b) Banho ou incubador, para manter os frascos a uma temperatura constante ($\pm 1^\circ\text{C}$ ou mais precisa), ao abrigo da luz;
- c) Frascos de vidro grandes (2-5 l) para a preparação dos meios e para enchimento dos frascos para CBO;
- d) Electrodo de oxigénio e medidor, ou equipamento e reagentes para a titulação de Winkler.

VI.2.2. Preparação do meio mineral

Para a preparação da solução de reserva ver ponto I.6.2.

Misturar 1 ml das soluções (a) a (d) e ajustar o volume a 1 litro com água de diluição.

VI.2.3. Preparação do inóculo

O inóculo é normalmente obtido dum efluente secundário duma estação de tratamento ou duma unidade laboratorial, que recebe predominantemente esgotos domésticos. Uma origem alternativa para o inóculo é a água de superfície. Usa-se normalmente de uma gota (0,05 ml) a 5 ml de filtrado por litro de meio. Podem ser necessárias várias tentativas para se descobrir o volume óptimo de dado efluente (ver pontos I.6.4.2 e I.6.5).

VI.2.4. Preparação dos frascos

Arejar fortemente o meio mineral durante pelo menos 20 minutos. Efectuar cada série de ensaios com meio mineral proveniente do mesmo lote. De um modo geral, o meio estará pronto para utilização depois de ter estado em repouso durante 20 horas, à temperatura de ensaio. Determinar a concentração do oxigénio dissolvido para efeitos de controlo; esse valor deve ser de aproximadamente 9 mg/l à temperatura de 20 °C. Efectuar todas as operações de transferência e de enchimento de meio saturado com ar sem formação de bolhas, por exemplo, utilizando sifões.

Paralelamente, preparar outros grupos de frascos para CBO, para a determinação das substâncias químicas de ensaio e de referência em séries experimentais simultâneas. Preparar um número suficiente de frascos para CBO, incluindo os brancos de inóculo, de modo que possam efectuar-se as medições de consumo de oxigénio, pelo menos em duplicado, com os intervalos de ensaio desejados, por exemplo, decorridos 0, 7, 14, 21 e 28 dias. Para se assegurar a identificação do período dos 10 dias, podem ser necessários mais frascos.

Adicionar meio mineral completamente arejado aos frascos grandes de modo que estes fiquem cheios até um terço. Adicionar depois quantidade suficiente das soluções de reserva da substância química de ensaio e da substância química de referência a frascos grandes distintos, de modo que a concentração final das substâncias químicas não seja normalmente superior a 10 mg/l. Não adicionar nenhuma substância química ao branco de controlo do meio, contido noutro frasco grande.

Para não se limitar a actividade do inóculo, garantir que a concentração do oxigénio dissolvido não desça abaixo de 0,5 mg/l nos frascos para CBO. Isto limita a concentração da substância química de ensaio a cerca de 2 mg/l. Contudo, nos casos de compostos dificilmente degradáveis e dos que têm um valor de CTeO baixo, pode prever-se 5-10 mg/l. Em alguns casos, é aconselhável efectuar uma série de experiências paralelas, com a substância química de ensaio em duas concentrações diferentes, por exemplo, 2 e 5 mg/l. Normalmente, calcula-se o valor da CTeO com base na formação de sais de amónio mas, se se souber que há nitrificação ou se esta for previsível, efectua-se o cálculo com base na formação de nitrato (CTeO_{NO3}; ver apêndice 2.2). Todavia, havendo nitrificação mas não sendo esta completa, efectua-se a correcção em função das variações da concentração de nitrito e de nitrato, determinadas por análise (ver apêndice 5).

No caso de se pretender investigar a toxicidade da substância química de ensaio (por exemplo, no caso de se ter verificado previamente um fraco valor de biodegradabilidade), é necessária outra série de frascos.

Preparar outro frasco grande para meio mineral arejado (cheio até um terço do seu volume), mais a substância química de ensaio e a substância química de referência com os valores finais de concentração, normalmente idênticos aos dos outros frascos grandes.

Inocular as soluções dos frascos grandes com efluente secundário (uma gota, ou cerca de 0,05 ml, até 5 ml/l) ou de outra origem, tal como a água dos rios (ver ponto 1.6.4.2). Finalmente, ajustar o volume das soluções com meio mineral arejado, utilizando um tubo que atinja o fundo do frasco de modo a obter-se uma mistura adequada.

VI.2.5. Número de frascos numa experiência-tipo

Numa experiência-tipo utilizam-se os frascos seguintes:

- pelo menos 10 contendo a substância química de ensaio e o inóculo (suspensão de ensaio),
- pelo menos 10 contendo apenas inóculo (branco de inóculo),
- pelo menos 10 contendo a substância química de referência e o inóculo (controlo),
- e, se necessário, seis frascos contendo a substância química de ensaio, a substância química de referência e o inóculo (controlo de toxicidade). Contudo, para se assegurar a identificação do período dos 10 dias, será necessário utilizar o dobro dos frascos.

VI.2.6. Realização do ensaio

Distribuir imediatamente cada solução preparada pelo respectivo grupo de frascos para CQO, utilizando um tubo que mergulhe até um quarto do fundo (e não no fundo) do frasco grande, de modo que todos os frascos para CQO fiquem completamente cheios. Bater suavemente para remover quaisquer bolhas de ar. Verificar, logo no momento inicial, a existência de oxigénio dissolvido nos frascos, recorrendo a análises, pelos métodos de Winkler ou do eléctrodo. O conteúdo dos frascos pode ser conservado para análise posterior pelo método de Winkler, adicionando sulfato de manganés (II) e hidróxido de sódio (o primeiro é o reagente de Winkler). Armazenar os frascos cuidadosamente tapados, contendo o oxigénio retido na forma de óxido de manganés (III) hidratado, que é castanho, ao abrigo da luz e à temperatura de 10°C-20°C, durante um período inferior a 24 horas, antes de continuar com os outros passos do método de Winkler. Rolhar os restantes frascos em duplicado, garantindo que não contêm bolhas de ar, e incubar à temperatura de 20°C, ao abrigo da luz. Cada série deve ser acompanhada por uma outra série paralela completa, para as determinações no branco de meio inoculado. De cada série, retirar pelo menos dois frascos idênticos para análise do oxigénio dissolvido, a intervalos de tempo regulares (pelo menos semanalmente) durante os 28 dias de incubação.

A amostragem semanal deve permitir avaliar a remoção percentual num período de 14 dias, ao passo que as amostras recolhidas cada três, quatro dias devem permitir identificar o período dos 10 dias, o que exigirá o dobro dos frascos.

Para as substâncias de ensaio que contêm azoto, devem ser feitas correcções que dêem conta do consumo de oxigénio provocado por qualquer fenómeno de nitrificação que possa ocorrer. Para efectuar esta operação, recorrer ao método do eléctrodo de O₂ para a determinação da concentração do oxigénio dissolvido e, depois, retirar uma amostra do frasco para a CBO, para a análise de nitrito e de nitrato. A partir do acréscimo na concentração de nitrito e de nitrato, calcular o oxigénio utilizado (ver apêndice 5).

VI.3. RESULTADOS E RELATÓRIO

VI.3.1. Tratamento dos resultados

Calcular primeiro a CBO que se manifesta após cada período, subtraindo a redução de oxigénio (mg de O₂/l) no branco de inóculo do valor determinado para a substância química de ensaio. Dividir esta redução corrigida pela concentração (mg/l) da substância química de ensaio, para se obter o valor CBO específico, em miligrama de oxigénio por miligrama de substância química de ensaio. Calcular a percentagem de biodegradabilidade, dividindo o valor CBO específico pelo valor CTeO específico (calculado em conformidade com o apêndice 2.2) ou pelo valor CQO (determinado por análise, ver apêndice 2.3) ou seja:

$$CBO = \frac{(\text{mg O}_2 \text{ consumido pela subst. de ensaio} - \text{mg O}_2 \text{ consumido pelo branco})}{(\text{mg de substância de ensaio no frasco})}$$

= mg de O₂ por mg de substância de ensaio

$$\% \text{ de degradação} = \frac{CBO (\text{mg O}_2/\text{mg de substância de ensaio})}{CTeO (\text{mg O}_2/\text{mg de substância de ensaio})} \times 100$$

ou

$$\% \text{ de degradação} = \frac{\text{CBO (mg O}_2\text{/mg de substância ensaio)}}{\text{CQO (mg O}_2\text{/mg de substância ensaio)}} \times 100$$

Note-se que estes dois métodos não conduzirão necessariamente ao mesmo valor, sendo preferível utilizar o primeiro.

Para as substâncias de ensaio que contêm azoto, utilizar os valores CTeO adequados (NH₄ ou NO₃) conforme exista ou se admita que possa ocorrer nitrificação (apêndice 2.2). Se houver nitrificação, não sendo esta completa, calcular a correcção decorrente do oxigénio consumido por nitrificação, a partir da variação na concentração de nitrito e de nitrato (apêndice 5).

VI.3.2. **Validade dos resultados**

A redução do oxigénio no branco de inóculo não deve exceder 1,5 mg de oxigénio dissolvido/l decorridos 28 dias. Valores superiores a esse exigem uma análise cuidadosa das técnicas experimentais. A concentração de oxigénio residual nos frascos de ensaio não deverá descer abaixo de 0,5 mg/litro em nenhuma ocasião. Esses níveis baixos de oxigénio apenas são válidos se o método utilizado para a determinação do oxigénio dissolvido permitir medir tais níveis com exactidão.

Ver também o ponto I.5.2.

VI.3.3. **Relatório**

Ver I.8.

VI.4. **FOLHA DE DADOS**

Como exemplo de folha de dados apresenta-se a que se segue.

ENSAIO DO FRASCO FECHADO

1. **LABORATÓRIO**

2. **DATA DO INÍCIO DO ENSAIO**

3. **SUBSTÂNCIA DE ENSAIO**

Nome: ...

Concentração da solução de reserva: ... mg/l

Concentração inicial no frasco: ... mg/l

CTeO ou CQO: mg O₂/mg de substância de ensaio

4. **INÓCULO**

Origem: ...

Tratamento efectuado: ...

Pré-condicionamento, se o houver: ...

Concentrações das substâncias sólidas em suspensão na mistura reaccional: ... ml/l

5. **DETERMINAÇÕES DO OD**

Método: Winkler/eléctrodo.

Análises em frasco

Tempo de incubação (d)			DO (mg/l)			
			0	n ₁	n ₂	
Branco (sem substância química)	1	C ₁				
	2	C ₂				
Média	$m_b = \frac{C_1 + C_2}{2}$					
Substância de ensaio	1	a ₁				
	2	a ₂				
Média	$m_t = \frac{a_1 + a_2}{2}$					

NB: Podem ser utilizados esquemas idênticos para a substância química de referência e para os controlos de toxicidade

6. CORRECÇÃO DEVIDA A NITRIFICAÇÃO (ver apêndice 5)

Tempo de incubação (d)		0	n ₁	n ₂	n ₃
i)	Concentração de nitrato (mg N/l)				
ii)	Variação na concentração de nitrato (mg N/l)	—			
iii)	Equivalente de oxigénio (mg/l)	—			
iv)	Concentração de nitrito (mg N/l)				
v)	Variação na concentração de nitrito (mg N/l)	—			
vi)	Equivalente de oxigénio (mg/l N/l)	—			
iii) + vi)	Equivalente de oxigénio total (mg/l)	—			

7. REDUÇÃO DO OD: % DE DEGRADAÇÃO

	Redução decorridos n dias (mg/l)			
	n ₁	n ₂	n ₃	
Frasco 1: (m _{to} - m _{tx}) - (m _{bo} - m _{bx})				
Frasco 2: (m _{to} - m _{tx}) - (m _{bo} - m _{bx})				
Frasco 1: $\% D_1 = \frac{[(m_{to} - m_{tx}) - (m_{bo} - m_{bx})]}{\text{conc. de ensaio} \times \text{CTeO da subs. quím.}} \times 100$				
Frasco 2: $\% D_2 = \frac{[(m_{to} - m_{tx}) - (m_{bo} - m_{bx})]}{\text{conc. de ensaio} \times \text{CTeO da subs. quím.}} \times 100$				
$\% D \text{ média (*)} = \frac{D_1 - D_2}{2}$				

(*) Não retomar o valor médio, se existirem diferenças consideráveis entre os duplicados.

m_{t_0} = valor no frasco de ensaio no tempo 0,
 m_{t_x} = valor no frasco de ensaio no tempo x,
 m_{b_0} = valor médio do branco no tempo 0,
 m_{b_x} = valor médio do branco no tempo x.

Aplicar também a correcção decorrente da nitrificação, com base em iii) + vi) da secção 6.

8. REDUÇÕES DE OD NO BRANCO

Consumo de oxigénio no branco: $(m_{b_0} - m_{b_{28}})$ mg/l. Este consumo é importante para a validade do ensaio. Deve ser inferior a 1,5 mg/l.

PARTE VII. ENSAIO DE MITI (método C.4-F)

VII.1. PRINCÍPIO DO MÉTODO

Mede-se automaticamente a absorção de oxigénio por uma solução ou suspensão agitada, contendo a substância química de ensaio num meio mineral, inoculada com microorganismos inadaptados e especialmente desenvolvidos, durante um período de 28 dias, num respirómetro encerrado, ao abrigo da luz e à temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$. A absorção do dióxido de carbono libertado faz-se com cal sódica. Exprime-se a biodegradabilidade pela percentagem do consumo de oxigénio (corrigida em função do consumo do branco) em relação ao consumo teórico (CTeO). Calcula-se também a percentagem de biodegradabilidade primária, a partir de uma análise química específica complementar, efectuada no início e no fim da incubação, por exemplo, por análise do COD.

VII.2. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

VII.2.1. Equipamento

- Medidor de CBO electrolítico automático ou respirómetro, normalmente equipado com seis frascos de 300 ml cada um e também equipado com recipientes para o absorvente de CO_2 ;
- Sal. de temperatura constante e/ou banho à temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ou mais precisa;
- Dispositivo de filtração por membranas (facultativo);
- Analizador de carbono (facultativo).

VII.2.2. Preparação do meio mineral

Preparar as seguintes soluções de reserva, utilizando reagentes de qualidade analítica e água (ponto I.6.1):

a)	Dihidrogeno-ortofosfato monopotássico, KH_2PO_4	8,50 g
	Monohidrogeno-ortofosfato dipotássico, K_2HPO_4	21,75 g
	Monohidrogeno-ortofosfato dissódico dodecahidratado, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{ H}_2\text{O}$	44,60 g
	Cloreto de amónio, NH_4Cl	1,70 g
	Dissolver em água e ajustar o volume a 1 litro.	
	O valor do pH da solução deve ser de 7,2;	
b)	Sulfato de magnésio heptahidratado, $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$	22,50 g
	Dissolver em água e ajustar o volume a 1 litro;	
c)	Cloreto de cálcio anidro, CaCl_2	27,50 g
	Dissolver em água e ajustar o volume a 1 litro;	
d)	Cloreto de ferro (III) hexahidratado, $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$	0,25 g
	Dissolver em água e ajustar o volume a 1 litro.	

Retirar 3 ml de cada uma das soluções a), b), c) e d) e ajustar o volume a 1 litro.

VII.2.3. Preparação do inóculo

Recolher amostras recentes em pelo menos dez locais, sobretudo em áreas onde sejam utilizados e descarregados diversos produtos químicos. Em locais tais como as estações de tratamento de águas residuais, estações de tratamento de esgotos industriais, rios, lagos, mar, recolher 1 litro de amostras de lamas, solo superficial, água, etc., e misturar tudo muito bem. Após a remoção dos materiais flutuantes, deixar repousar e ajustar o pH do sobrenadante a 7 ± 1 , utilizando hidróxido de sódio ou ácido fosfórico.

Utilizar um volume adequado de sobrenadante filtrado para encher um recipiente próprio para lamas activadas com dispositivo de enchimento e esvaziamento. Arejar o líquido durante cerca de 23,5 horas. Trinta minutos após a interrupção do arejamento, rejeitar cerca de um terço do volume total do sobrenadante e adicionar igual volume de uma solução (pH 7) contendo glucose, peptona e ortofosfato monopotássico de concentração 0,1 % em qualquer destes componentes, ao material sedimentado, e recomençar o processo de arejamento. Repetir este procedimento uma vez por dia. A unidade de lamas deve operar de acordo com as seguintes boas práticas: os efluentes deverão ser límpidos, a temperatura deverá ser mantida a 25 ± 2 °C e o pH deverá ser 7 ± 1 , a sedimentação das lamas deverá ser boa, arejamento suficiente para manter a mistura permanentemente em condições aeróbias, presença de protozoários, devendo testar-se a actividade das lamas por comparação com uma substância de referência, pelo menos cada três meses. Não utilizar lamas como inóculo sem que tenha decorrido pelo menos um mês de operação, mas não mais do que quatro meses. Seguidamente, colher amostras em pelo menos 10 locais a intervalos regulares, uma vez em cada três meses.

Para se manter a mesma actividade nas lamas frescas e nas antigas, misturar o sobrenadante filtrado de lamas activadas em utilização com igual volume de sobrenadante filtrado de uma mistura recentemente obtida a partir de dez origens e fazer a cultura do caldo combinado conforme anteriormente descrito. Recolher as lamas para utilização como inóculo decorridas 18-24 horas sobre a alimentação da unidade de lamas.

VII.2.4. Preparação dos frascos

Preparar os seis frascos seguintes:

N.º 1: substância química de ensaio em água de diluição, a 100 mg/l

N.ºs 2, 3 e 4: substância química de ensaio em meio mineral, a 100 mg/l

N.º 5: substância química de referência (por exemplo, anilina) em meio mineral, a 100 mg/l

N.º 6: apenas meio mineral

Adicionar directamente as substâncias químicas de ensaio pouco solúveis, com base na sua massa ou volume ou proceder conforme descrito no apêndice 3, com a excepção de não ser conveniente utilizar nem solventes nem agentes emulsionantes. Adicionar o absorvente de CO₂ a todos os frascos, colocando-o nos recipientes especiais existentes. Ajustar o valor do pH a 7,0, nos frascos n.ºs 2, 3 e 4.

VII.2.5. Realização do ensaio

Inocular os frascos n.ºs 2, 3 e 4 (suspensões de ensaio), n.º 5 (controlo de actividade) e n.º 6 (branco de inóculo) com um pequeno volume de inóculo, para se obter uma concentração de sólidos em suspensão de 30 mg/l. Não se adiciona nenhum inóculo ao frasco n.º 1, que serve como controlo abiótico. Montar o equipamento, verificar a sua estanquidade, pôr os agitadores em movimento e começar a medição do consumo de oxigénio ao abrigo da luz. Verificar diariamente a temperatura, os agitadores e o registador coulombimétrico do consumo de oxigénio, e registar quaisquer modificações de cor no conteúdo dos frascos. Fazer a leitura dos consumos de oxigénio referentes aos seis frascos directamente, por um método apropriado, por exemplo a partir dos seis gráficos do registador das curvas de CBO. No final da incubação, normalmente decorridos 28 dias, medir o valor do pH do conteúdo dos frascos e determinar a concentração residual da substância química de ensaio e de qualquer produto intermediário e, no caso de substâncias solúveis na água, a concentração do COD (apêndice 2.4). Tomar precauções especiais no caso das substâncias químicas voláteis. No caso de se prever nitrificação, determinar a concentração de nitrato e de nitrito, se possível.

VII.3. RESULTADOS E RELATÓRIO**VII.3.1. Tratamento dos resultados**

Dividir o consumo de oxigénio (mg) da substância química de ensaio, correspondente a um determinado período, pela massa da substância química de ensaio utilizada, corrigindo aquele com o valor referente ao branco de inóculo de controlo correspondente ao mesmo período. Obtém-se assim a CBO, expressa em mg de oxigénio/mg de substância química de ensaio, ou seja:

$$CBO = \frac{(\text{mg O}_2 \text{ consumido pela subst. de ensaio} - \text{mg O}_2 \text{ consumido pelo branco})}{(\text{mg de substância de ensaio no frasco})}$$

= mg de O₂/mg de substância de ensaio

Deste modo, obtém-se a percentagem de biodegradação pela expressão:

$$\% \text{ biodegradação} = \% \text{ CTeO} = \frac{\text{CBO (mg O}_2\text{/mg de substância química)}}{\text{CTeO (mg O}_2\text{/mg de substância química)}} \times 100$$

Para misturas, calcular a CTeO por análise elementar, tal como para um composto único. Utilizar o valor de CTeO adequado (CTeO_{NH4} ou CTeO_{NO3}) consoante não haja nitrificação ou esta seja completa (apêndice 2.2). Todavia, se houver nitrificação mas se esta for incompleta, efectuar uma correcção decorrente do oxigénio consumido por nitrificação, calculado a partir das variações nas concentrações de nitrito e de nitrato (apêndice 5).

Calcular a percentagem de biodegradação primária a partir das perdas da substância química específica (original) (ver ponto I.7.2).

$$D_t = \frac{S_b - S_a}{S_b} \times 100 \%$$

Se tiver havido uma perda de substância química de ensaio no frasco n.º 1, medir a variação físico-química, registar esse facto e utilizar a concentração da substância química de ensaio (S_b) decorridos 28 dias, nesse frasco, para calcular a percentagem de biodegradação.

No caso de se efectuarem determinações de COD (facultativas), calcular a percentagem de biodegradação final pela expressão:

$$D_t = \left(1 - \frac{C_t - C_{bt}}{C_o - C_{bo}} \right) \times 100 \%$$

conforme descrito no ponto I.7.1. Se tiver havido uma perda de COD no frasco n.º 1, ao medir-se a remoção por via físico-química, deve utilizar-se a concentração de GOD nesse frasco para calcular a percentagem de biodegradação.

Registar todos os resultados na folha de dados anexa.

VII.3.2. **Validade dos resultados**

O oxigénio consumido pelo branco de inóculo é, normalmente, de 20-30 mg de O₂/l e não deverá ser superior a 60 mg/l em 28 dias. Os valores superiores a 60 mg/l exigem uma análise crítica dos resultados e das técnicas experimentais. No caso de o valor do pH estar fora do intervalo 6-8,5 e se o oxigénio consumido pela substância de ensaio for inferior a 60 %, o ensaio deverá ser repetido com uma concentração inferior de substância química de ensaio.

Ver também o ponto I.5.2.

Se a percentagem de degradação da anilina, calculada a partir do consumo de oxigénio, não exceder 40 %, decorridos sete dias, e 65 %, decorridos catorze dias, o ensaio não deve ser considerado válido.

VII.3.3. **Relatório**

Ver ponto I.8.

VII.4. **FOLHA DE DADOS**

Como exemplo de folha de dados apresenta-se a seguinte:

ENSAIO DO MITI (I)

1. **LABORATÓRIO**

2. **DATA DO INÍCIO DO ENSAIO**

3. **SUBSTÂNCIA DE ENSAIO**

Nome:

Concentração da solução de reserva: mg/l da substância

Concentração inicial no meio, C_0 : mg/l da substância

Volume da mistura reaccional: ml

CTeO: mg O_2 /l4. **INÓCULO**

Locais de colheita das amostras de lama:

1. ...	6. ...
2. ...	7. ...
3. ...	8. ...
4. ...	9. ...
5. ...	10. ...

Concentração de sólidos em suspensão nas lamas activadas depois de aclimatização com águas residuais sintéticas = mg/l,

Volume de lamas activadas por litro de meio final = ml,

Concentração de lamas no meio final = mg/l.

5. **CONSUMO DE OXIGÉNIO: BIODEGRADABILIDADE**

Tipo de respirómetro utilizado:

		Tempo (dias)				
		0	7	14	21	28
O ₂ consumido (mg) pela substância de ensaio	a ₁					
	a ₂					
	a ₃					
O ₂ consumido (mg) pelo branco	b					
O ₂ consumido (mg) corrigido	(a ₁ - b) (a ₂ - b) (a ₃ - b)					
CBO por mg de substância química de ensaio	$\frac{(a-b)}{C_0 V}$	Frasco 1				
		Frasco 2				
		Frasco 3				

			Tempo (dias)				
			0	7	14	21	28
$\frac{\% \text{ de degradação CBO}}{\text{CTeO}} \times 100$		1					
		2					
		3					
		média (*)					

(*) Não retomar o valor médio, se existirem diferenças consideráveis entre os duplicados.

NB: Podem ser utilizados esquemas idênticos para a substância química de referência.

6. ANÁLISE DE CARBONO (opcional)

Analizador de carbono:

Frasco	COD				% de COD remo- vido	Média
	Medido		Corrigido			
Água + substância de ensaio	a				—	—
Lamas + substância de ensaio	b ₁		b ₁ - c			
Lamas + substância de ensaio	b ₂		b ₂ - c			
Lamas + substância de ensaio	b ₃		b ₃ - c			
Branco de controlo	c		—		—	—

$$\% \text{ de COD removido} = \frac{a_1 - (b - c)}{a} \times 100$$

7. DADOS ANALÍTICOS ESPECÍFICOS DA SUBSTÂNCIA QUÍMICA

	Quantidade residual de substância de ensaio no final do teste	% de degradação
ensaio em branco com água	S _b	
meio inoculado	S _{a1}	
	S _{a2}	
	S _{a3}	

$$\% \text{ de degradação} = \frac{S_b - S_a}{S_b} \times 100$$

Calcular a percentagem de degradação para os frascos a₁, a₂ e a₃, respectivamente.

8. OBSERVAÇÕES

Deve anexar-se a curva de CBO em função do tempo, se existir.

Apêndice 1

ABREVIATURAS E DEFINIÇÕES

- OD: O oxigénio dissolvido (mg/l) é a concentração do oxigénio dissolvido numa amostra aquosa.
- CBO: A carência bioquímica de oxigénio (g) é a quantidade de oxigénio consumida pelos microorganismos ao metabolizarem um composto de ensaio; também se exprime em g de oxigénio consumido por g de composto de ensaio (ver método C.5).
- CQO: A carência química de oxigénio (g) é a quantidade de oxigénio consumida durante a oxidação de um composto de ensaio com dicromato ácido a quente; permite medir a quantidade de matérias oxidáveis presentes; também se exprime em g de oxigénio consumido por g de composto de ensaio (ver método C.6).
- COD: O carbono orgânico dissolvido é o carbono orgânico presente na solução ou que passa através de um filtro de 0,45 microns ou que permanece no sobrenadante após centrifugação a 40 000 m.s⁻² (± 4 000 g) durante 15 minutos.
- CTeO: A carência teórica de oxigénio (mg) é a quantidade de oxigénio necessária para oxidar completamente uma substância química; calcula-se a partir da fórmula molecular (ver apêndice 2.2) e também se exprime em mg de oxigénio necessário por mg de composto de ensaio.
- CO₂Te: O dióxido de carbono teórico (mg) é a quantidade calculada do dióxido de carbono que seria produzido a partir do teor de carbono medido ou conhecido do composto de ensaio, quando totalmente mineralizado; também se exprime em mg de dióxido de carbono libertado por mg de composto de ensaio.
- COT: O carbono orgânico total de uma substância é a soma do carbono orgânico em solução e em suspensão.
- CI: Carbono inorgânico.
- CT: Carbono total, é a soma do carbono orgânico e inorgânico presente na amostra.

Biodegradação primária:

é a alteração da estrutura química de uma substância efectuada por acção biológica, tendo como resultado a perda de propriedades específicas dessa substância.

Biodegradação total (aeróbia):

é o nível de degradação alcançado quando o composto de ensaio é totalmente utilizado pelos microorganismos, produzindo dióxido de carbono, água, sais minerais e novos constituintes celulares microbianos (biomassa).

Facilmente biodegradável:

é uma classificação arbitrária para as substâncias químicas que passaram nos diversos ensaios específicos de despiste da biodegradabilidade total; dado que esses ensaios são tão exigentes, assumiu-se que essas substâncias serão biodegradadas fácil e completamente em ambiente aquático, sob condições aeróbias.

Intrinsecamente biodegradável:

é uma classificação de substâncias químicas relativamente às quais existem provas inequívocas de biodegradação (primária e total) num qualquer ensaio reconhecido de biodegradabilidade.

Tratáveis:

é a possibilidade de certos compostos serem removidos durante o tratamento biológico de águas residuais sem afectarem desfavoravelmente o funcionamento normal do processo de tratamento. De um modo geral, os compostos facilmente biodegradáveis são tratáveis mas o mesmo não sucede com todos os compostos intrinsecamente biodegradáveis. Também podem ser utilizados processos abióticos.

Tempo de latência:

é o tempo decorrido desde a inoculação, num ensaio de redução gradual, até que a percentagem de degradação tenha aumentado pelo menos até 10 %. O tempo de latência é normalmente bastante variável e pouco reprodutível.

Tempo de degradação:

é o tempo decorrido desde o final do tempo de latência até ao momento em que se atinge 90 % do nível máximo de degradação.

Período dos dez dias:

é o período de dez dias que se segue imediatamente a um nível de degradação de 10 %.

Apêndice 2

CÁLCULO E DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS ADEQUADOS

Consoante o método escolhido, assim serão necessários determinados parâmetros característicos. Na secção seguinte descreve-se o modo de obter esses valores. A utilização desses parâmetros foi descrita em cada um dos métodos.

1. Teor de carbono

Calcula-se o teor de carbono a partir da composição elementar conhecida ou determina-se por análise elementar da substância de ensaio.

2. Carência teórica de oxigénio (CTeO)

A carência teórica de oxigénio (CTeO) pode ser calculada se for conhecida a composição elementar ou pode ser determinada por análise elementar. Para o seguinte composto genérico

$C_c H_h Cl_{cl} N_n Na_{na} O_o P_p S_s$ sera:

sem nitrificação,

$$ThOD_{NH_4} = \frac{16 [2 c + 1/2 (h - cl - 3 n) + 3 s + 5/2 p + 1/2 na - o]}{\text{Massa molecular}} \text{ mg/mg}$$

ou, com nitrificação,

$$ThOD_{NO_3} = \frac{16 [2 c + 1/2 (h - cl) + 5/2 n + 3 s + 5/2 p + 1/2 na - o]}{\text{Massa molecular}} \text{ mg/mg}$$

3. Carência química de oxigénio (CQO)

A carência química de oxigénio (CQO) determina-se em conformidade com o método C.6.

4. Carbono orgânico dissolvido (COD)

Por definição, o carbono orgânico dissolvido (COD) é o carbono orgânico de qualquer substância química ou de qualquer mistura em água que não é relido por um filtro de 0,45 microns.

Retiram-se amostras dos recipientes de ensaio e filtram-se imediatamente no equipamento de filtração, utilizando um filtro de membrana adequado. Os primeiros 20 ml (esta quantidade pode ser reduzida quando se utilizam filtros pequenos) de filtrado são rejeitados. Retêm-se volumes de 10-20 ml ou inferiores, se forem injectados (volume dependente da quantidade necessária para o analisador de carbono), para análise de carbono. Determina-se a concentração de COD por meio de um analisador de carbono orgânico capaz de medir com exactidão uma concentração de carbono equivalente ou inferior a 10 % da concentração do COD inicial utilizada no ensaio.

As amostras filtradas que não possam ser analisadas no próprio dia do trabalho podem ser conservadas num frigorífico à temperatura de 2-4°C, durante 48 horas, ou a temperaturas inferiores a - 18°C durante períodos mais longos.

Observações:

Os filtros de membrana são frequentemente impregnados com agentes tensioactivos para hidrofilição. Deste modo, o filtro pode conter até alguns mg de carbono orgânico solúvel que pode interferir com as determinações de biodegradabilidade. Os agentes tensioactivos e outros compostos orgânicos solúveis são removidos dos filtros por fervura em água desionizada durante três períodos de uma hora. Depois, os filtros podem ser mantidos em água durante uma semana. No caso de se utilizarem embalagens de filtros descartáveis, cada lote deve ser verificado para se confirmar que não liberta carbono orgânico solúvel.

A substância química de ensaio pode ser retida por adsorção, dependendo do tipo de filtro de membrana. Por esse motivo, é aconselhável garantir que a substância química de ensaio não é retida pelo filtro.

Em vez da filtração, pode recorrer-se a centrifugação a $40\,000\text{ m.s}^{-2}$ (4 000 g), durante 15 minutos, para diferenciar o COD do COT. Este método não é fiável para uma concentração inicial $< 10\text{ mg de COD/l}$ uma vez que nem todas as bactérias são removidas, nem o carbono que faz parte do plasma bacteriano é redissolvido.

BIBLIOGRAFIA

- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 12th ed, Am. Pub. Hlth. Ass., Am. Wat. Oll. control Fed., Oxygen Demand, 1965, p. 65.
 - Wagner, R. Von Wasser, 1976, Vol. 46, 139.
 - DIN-Entwurf 38409 Teil 41 — Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H). Bestimmung des Chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB) (H 41), Normenausschuß Wasserwesen (NAW) in DIN Deutsches Institut für Normung e.v.
 - Gerike, P. The biodegradability testing of poorly water soluble compounds. Chemosphere, 1984, Vol. 13 (1), 169.
-

*Apêndice 3***AValiação da Biodegradabilidade de Substâncias Pouco Solúveis**

Nos ensaios de biodegradabilidade com substâncias pouco solúveis é necessário prestar especial atenção aos aspectos que se seguem.

Embora os líquidos homogêneos raramente apresentem problemas de amostragem, recomenda-se que se faça a homogeneização das substâncias sólidas por meios adequados, para evitar erros devidos a heterogeneidade. É necessário tomar cuidados especiais quando se pretendem amostras representativas de alguns miligramas, obtidas a partir de misturas de substâncias químicas ou de outras substâncias com grandes quantidades de impurezas.

Podem utilizar-se diversas formas de agitação durante os ensaios. É necessário ter a precaução de utilizar apenas a agitação suficiente para manter as substâncias químicas dispersas e para evitar sobreaquecimento, excessiva formação de espuma e forças de corte excessivas.

Pode ser utilizado um emulsionante que produza uma dispersão estável da substância química. Não deve ser tóxico para as bactérias e não deve ser biodegradado ou provocar espuma nas condições de ensaio.

Aos solventes, aplica-se o mesmo critério dos emulsionantes.

Não se recomenda a utilização de veículos sólidos para as substâncias de ensaio no estado sólido embora possam ser adequados para as substâncias oleosas.

No caso de se utilizarem substâncias auxiliares, tais como os emulsionantes, solventes e veículos, deve efectuar-se também uma experiência com um branco que contenha a substância auxiliar.

Pode ser utilizado qualquer um dos três ensaios respirométricos de CO₂, CBO e MITI, para estudar a biodegradabilidade de compostos pouco solúveis.

BIBLIOGRAFIA

- de Morsier, A. et al. Biodegradation tests for poorly soluble compounds. Chemosphere, 1987, Vol. 16, 833.
- Gerike, P. The Biodegradability testing of poorly water soluble compounds. Chemosphere, 1984, Vol. 13, 169.

*Apêndice 4***AVALIAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE DE SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS QUE POSSAM SER TÓXICAS PARA O INÓCULO**

Quando se submete uma substância química a um ensaio de biodegradabilidade fácil e esta não é, aparentemente, biodegradável, recomenda-se o procedimento seguinte, no caso de se pretender estabelecer uma distinção entre inibição e inércia (Reynolds et al., 1987).

Para os ensaios de toxicidade e de biodegradação devem ser utilizados inóculos semelhantes ou idênticos.

Para se avaliar a toxicidade de substâncias químicas de ensaio através de ensaios de biodegradabilidade fácil, sugere-se a aplicação de um ou de uma combinação do método de inibição da taxa respiratória das lamas (ensaio de inibição da respiração em lamas activadas — Dir 88/302/CEE), do CBO e/ou da inibição do crescimento.

No caso de se pretender evitar a inibição decorrente da toxicidade, sugere-se que as concentrações da substância de ensaio utilizadas no ensaio de biodegradabilidade fácil sejam inferiores a 1/10 dos valores CE_{50} (ou inferiores aos valores de CE_{20}), obtidos em ensaios de toxicidade. Não é provável que os compostos com um valor de CE_{50} superior a 300 mg/l possuam efeitos tóxicos em ensaios de biodegradabilidade imediata.

É provável que valores de CE_{50} inferiores a 20 mg/l causem grandes problemas na continuação dos testes. Devem ser utilizadas baixas concentrações de ensaio, sendo necessário recorrer ao ensaio rigoroso e sensível do frasco fechado ou utilizar material marcado com ^{14}C . Em alternativa, um inóculo aclimatizado pode permitir a utilização de concentrações mais elevadas da substância de ensaio. Contudo, neste último caso, perde-se o critério específico do ensaio de biodegradabilidade imediata.

BIBLIOGRAFIA

Reynolds, L. et al. Evaluation of the toxicity of substances to be assessed for biodegradability. Chemosphere, 1987, Vol. 16, 2259.

Apêndice 5

CORRECÇÃO DO CONSUMO DE OXIGÉNIO DECORRENTE DA INTERFERÊNCIA POR NITRIFICAÇÃO

Os erros provocados por não se considerar a nitrificação na avaliação da biodegradabilidade das substâncias de ensaio que não contêm azoto através do consumo de oxigénio são marginais (não superiores a 5 %), mesmo no caso de a oxidação do azoto do amónio do meio ocorrer irregularmente, tal como sucede em relação aos recipientes de ensaio e ao branco. Contudo, para as substâncias de ensaio que contêm azoto, podem surgir erros graves.

Se houver nitrificação mas esta não for completa, o consumo de oxigénio pela mistura reaccional pode ser corrigido em função da quantidade de oxigénio utilizada para oxidar amónio em nitrito e nitrato, se as variações de concentração do nitrito e do nitrato durante a incubação forem determinadas tendo em conta as equações seguintes:



Globalmente é:



A partir da equação (1) verifica-se que o consumo de oxigénio por cada 28 g de azoto contido no cloreto de amónio (NH_4Cl) oxidado a nitrito é 96 g, isto é, um factor de 3,43 (96/28). De modo idêntico, a partir da equação (3), verifica-se que o consumo de oxigénio por cada 28 g de azoto oxidado a nitrato é 128 g, isto é, traduz-se por um factor de 4,57 (128/28).

Uma vez que as reacções são sequenciais, sendo provocadas por espécies características e diferentes de bactérias, é possível que a concentração de nitrito aumente ou diminua; neste último caso, formar-se-ia uma concentração equivalente de nitrato. Deste modo, o oxigénio consumido na formação de nitrato é o acréscimo da concentração de nitrato multiplicado por 4,57, ao passo que o oxigénio associado à formação de nitrito é o acréscimo da concentração de nitrito multiplicado por 3,43 ou, se houver diminuição da sua concentração, a perda de oxigénio é o decréscimo de concentração multiplicado por - 3,43.

Dito de outro modo:

$$\text{O}_2 \text{ consumido na formação de nitrato} = 4,57 \times \text{acrécimo na concentração de nitrato-N} \quad (4)$$

e

$$\text{O}_2 \text{ consumido na formação de nitrito} = 3,43 \times \text{acrécimo na concentração de nitrito-N} \quad (5)$$

e

$$\text{perda de O}_2 \text{ por reacção com nitrito} = \pm 3,43 \times \text{acrécimo na concentração de nitrito-N} \quad (6)$$

pelo que consumo de

$$\text{O}_2 \text{ devido à nitrificação} = - 3,43 \times \text{variação da concentração de nitrito-N} + 4,57 \times \text{acrécimo na concentração de nitrato-N} \quad (7)$$

e, portanto, consumo de

$$\text{O}_2 \text{ devido a oxidação de C} = \text{consumo total observado} - \text{consumo devido à nitrificação} \quad (8)$$

Em alternativa, se apenas se determinar o azoto oxidado total, o consumo de oxigénio devido à nitrificação pode considerar-se igual, em primeira aproximação, a $4,57 \times$ acréscimo do azoto oxidado.

O valor corrigido em função do consumo de oxigénio provocado pela oxidação do carbono é então comparado com o valor $\text{CTeO}_{\text{NH}_4^+}$ conforme foi calculado no apêndice 2.

C.5. DEGRADAÇÃO — CARÊNCIA BIOQUÍMICA DE OXIGÉNIO**1. MÉTODO****1.1. INTRODUÇÃO**

O objectivo deste método consiste em medir a carência bioquímica de oxigénio (CBO) de substâncias orgânicas sólidas ou líquidas.

Os dados elaborados com este ensaio relacionam-se com os compostos solúveis em água; todavia, em princípio pelo menos, é possível ensaiar também compostos voláteis e compostos de fraca solubilidade em água.

O método aplica-se apenas aos materiais de ensaio orgânicos que não sejam inibidores das bactérias nas concentrações utilizadas no ensaio. No caso de o material de ensaio não ser solúvel para valores da concentração de ensaio, será necessário recorrer a acções especiais tais como a dispersão ultra-sónica para se conseguir uma boa dispersão do material de ensaio.

A informação sobre a toxicidade do composto químico pode ser útil para a interpretação de resultados insuficientes e para a selecção das concentrações de ensaio apropriadas.

1.2. DEFINIÇÃO E UNIDADES

Define-se a CBO como sendo a massa de oxigénio dissolvido necessária para o processo de oxidação bioquímica de um volume específico de solução da substância sob as condições prescritas.

Os resultados exprimem-se em gramas de CBO por grama de substância ensaiada.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

É desejável a utilização de uma substância de referência adequada para verificação da actividade do inóculo.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Inocula-se com microorganismos uma quantidade predeterminada da substância dissolvida ou dispersa num meio adequado e bem arejado e depois faz-se a incubação ao abrigo de luz e a uma temperatura ambiente previamente definida e constante.

Determina-se a CBO pela diferença entre o teor em oxigénio dissolvido no início e no termo do ensaio. A duração do ensaio deve ser de pelo menos 5 dias e não deve exceder 28 dias.

Numa experiência paralela deve efectuar-se um ensaio em branco sem conter qualquer substância de ensaio.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

A determinação da CBO não pode ser considerada uma determinação válida da biodegradabilidade de uma substância. Este ensaio apenas pode ser considerado como um ensaio de pesquisa preliminar.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

Prepara-se uma solução ou dispersão preliminar da substância para se obter uma concentração da CBO compatível com o método utilizado. Determina-se depois a CBO utilizando qualquer método adequado nacional ou internacionalmente normalizado.

2. RESULTADOS E AVALIAÇÃO

Calcula-se a CBO existente na solução preliminar de acordo com o método normalizado seleccionado e converte-se em gramas de CBO por grama de substância ensaiada.

3. RELATÓRIO

O método utilizado deverá ser especificado.

O valor da carência bioquímica de oxigénio deverá ser uma média de pelo menos três medições válidas.

Todas as informações e observações relevantes para a interpretação dos resultados devem ser descritas, especialmente no que diz respeito a impurezas, estado físico, efeitos tóxicos e composição inerente da substância, que possa afectar os resultados.

Deve anotar-se a utilização de um aditivo para inibir a nitrificação biológica.

4. REFERÊNCIAS

Enumeração de métodos normalizados, por exemplo:

NF T 90-103: Determination of the biochemical oxygen demand.

NBN 407: Biochemical oxygen demand.

NEN 3235 5.4: Bepaling van het biochemisch zuurstofverbruik (BZV).

The determination of biochemical oxygen demand, Methods for the examination of water and associated materials, HMSO, London.

ISO 5815: Determination of biochemical oxygen demand after n days.

C.6. DEGRADAÇÃO — CARÊNCIA QUÍMICA DE OXIGÉNIO**1. MÉTODO****1.1. INTRODUÇÃO**

O objectivo deste método consiste em medir a carência química de oxigénio (CQO) de substâncias orgânicas sólidas ou líquidas por um processo arbitrário normalizado, sob condições laboratoriais previamente estabelecidas.

A informação sobre a fórmula da substância será útil para efectuar este ensaio e para interpretar os resultados obtidos (por exemplo, sais de halogéneos, sais ferrosos de compostos orgânicos, compostos organoclorados).

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

A carência química de oxigénio é uma medida da oxidabilidade de uma substância, e exprime-se pela quantidade equivalente de oxigénio de um reagente oxidante, consumido pela substância, sob condições laboratoriais previamente determinadas.

Exprime-se o resultado em gramas de CQO por grama da substância ensaiada.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Não é necessário utilizar substâncias de referência em todos os casos quando se investiga uma substância nova. Elas deverão servir essencialmente para calibrar o método de vez em quando e para permitir a comparação dos resultados quando se aplicar outro método.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Utilizando dicromato de potássio em ácido sulfúrico concentrado e utilizando sulfato de prata como catalisador, oxida-se uma quantidade predeterminada da substância, dissolvida ou dispersa em água, e levada a refluxo, durante duas horas. Determina-se o dicromato residual por um processo de titulação com um padrão de sulfato de amónio ferroso.

No caso das substâncias que contêm cloro, adiciona-se sulfato mercúrico ⁽¹⁾ para reduzir a interferência.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

Devido ao processo arbitrário de determinação, o valor da CQO constitui um «indicador de oxidabilidade» e como tal utiliza-se como um método prático para a medição de matéria orgânica.

Os cloretos podem interferir com este ensaio; a redução inorgânica ou os agentes oxidantes podem interferir também com a determinação da CQO.

Alguns compostos cíclicos e muitas substâncias voláteis (por exemplo, os ácidos gordos de baixo peso molecular) não são oxidados totalmente neste ensaio.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

Prepara-se uma solução ou dispersão preliminar da substância de ensaio para se obter uma CQO entre 250 e 600 mg por litro.

Anotações:

No caso das substâncias fracamente solúveis ou não dispersíveis, pode pesar-se uma quantidade da substância finamente pulverizada ou da substância líquida, correspondente a cerca de 5 mg da CQO, e depois coloca-se no aparelho experimental com água.

⁽¹⁾ Após a utilização, as soluções que contêm sais de mercúrio deverão ser tratadas para evitar a contaminação do ambiente com mercúrio.

A carência química de oxigénio (CQO) é determinada frequente e especialmente no caso das substâncias fracamente solúveis, recorrendo às vantagens de uma variante do método, isto é, num sistema fechado com um igualizador de pressão (H. Kelkenberg, 1975). De acordo com esta modificação, é possível quantificar frequentemente com sucesso os compostos para os quais as determinações são muito difíceis pelo método convencional (por exemplo, o ácido acético). Contudo, o método fracassa também no caso da piridina. Se a concentração do dicromato de potássio, conforme prescrito na referência (1), aumentar para 0,25 N (0,0416 M), fica facilitada a pesagem directa de 5-10 mg de substância o que é essencial para a determinação da CQO de substâncias fracamente solúveis em água (referência 2).

Caso contrário, determina-se depois a CQO utilizando qualquer método adequado nacional ou internacionalmente normalizado.

2. RESULTADOS E AVALIAÇÃO

Calcula-se a CQO existente no balão de ensaio experimental utilizando o método normalizado seleccionado e depois converte-se em gramas de CQO por grama de substância ensaiada.

3. RELATÓRIO

Deverá especificar-se o método de referência utilizado.

A carência química de oxigénio deverá ser a média de pelo menos três medições. Toda a informação e anotações relevantes para a interpretação dos resultados deverão ser descritas, especialmente no que diz respeito a impurezas, estado físico e propriedades inerentes à substância (se forem conhecidas) que possam afectar os resultados.

Deve ser mencionada a utilização de sulfato mercúrico para minimizar a interferência dos cloretos.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Kelkenberg, H. (1975). Z. von Wasser und Abwasserforschung, 8, 146.
- (2) Gerike, P. (1984). The biodegradability testing of poorly water soluble compounds. Chemosphere, 13, 169.

Enumeração de métodos normalizados, por exemplo:

NBN T 91-201 Determination of the chemical oxygen demand.

ISBN 0 11 7512494 Chemical oxygen demand (dichromate value) of polluted and waste waters.

NF T 90-101 Determination of the chemical oxygen demand.

DS 217 = water analysis Determination of the chemical oxygen demand.

DIN 38409-H-41 Determination of the chemical oxygen demand (COD) within the range above 15 mg per litre.

NEN 3235 5.3 Bepaling van het chemisch zuurstofverbruik.

ISO 6060 Water quality: chemical oxygen demand dichromate methods.

C.7. DEGRADAÇÃO — DEGRADAÇÃO ABIÓTICA: HIDRÓLISE EM FUNÇÃO DO PH**1. MÉTODO**

O presente método de ensaio é equivalente ao método OECD TG 111 (2004).

1.1. INTRODUÇÃO

As substâncias químicas podem afluir às águas de superfície por vias tais como a aplicação directa, a dispersão de pulverizados, a escorrência, a drenagem, a eliminação de resíduos, os efluentes industriais, domésticos e agrícolas e a deposição atmosférica, podendo ser transformados nas referidas águas por processos químicos (por exemplo hidrólise ou oxidação), fotoquímicos e/ou microbianos. A presente directriz descreve um método de ensaio laboratorial com o objectivo de avaliar as transformações por hidrólise abiótica de substâncias químicas em sistemas aquáticos com valores de pH correntes (pH 4 – 9) e baseia-se nas directrizes em vigor (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7).

O objectivo dos ensaios consiste em determinar (i) a velocidade de hidrólise da substância em estudo em função do pH e (ii) a identidade ou natureza, bem como as velocidades de formação e transformação, dos produtos de hidrólise a que os organismos possam ser expostos. Os estudos em causa podem ser necessários no caso de substâncias químicas directamente aplicadas na água ou que possam afectar o ambiente pelas outras vias atrás referidas.

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

Ver o apêndice 2.

1.3. APLICABILIDADE DO MÉTODO

O método é aplicável, de forma geral, a substâncias químicas (marcadas ou não) para as quais exista um método analítico de precisão e sensibilidade suficientes. É aplicável a compostos ligeiramente voláteis e não voláteis de solubilidade suficiente em água, não devendo ser aplicado a substâncias altamente voláteis em meio aquoso (nomeadamente fumigantes e solventes orgânicos), dado que as mesmas não podem ser mantidas em solução nas condições experimentais do ensaio. A realização do ensaio com substâncias de solubilidade mínima em água poderá revelar-se difícil (8).

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO

Procede-se à adição da substância em estudo a soluções-tampão aquosas estéreis de diversos valores de pH (pH 4, 7 e 9), seguida de incubação ao abrigo da luz em condições laboratoriais controladas (a temperaturas constantes). Após intervalos de tempo adequados, analisam-se as soluções-tampão para a pesquisa da substância em estudo, bem como de produtos de hidrólise. O recurso a substâncias de ensaio marcadas (por exemplo com ^{14}C) permite obter um balanço de massas com maior facilidade.

O método de ensaio é concebido numa forma progressiva que se ilustra e elucida no apêndice 1. Cada nível é condicionado pelos resultados do nível anterior.

1.5. INFORMAÇÕES SOBRE A SUBSTÂNCIA EM ESTUDO

As substâncias em estudo a utilizar para a determinação da velocidade de hidrólise podem ser marcadas ou não. As substâncias marcadas são especialmente úteis para o estudo do mecanismo da hidrólise e para o estabelecimento do balanço de massas; todavia, em alguns casos especiais, a marcação poderá não ser totalmente indispensável. Recomenda-se a marcação com ^{14}C , embora o recurso a outros isótopos, nomeadamente ^{13}C , ^{15}N e ^3H , possa revelar-se também útil. Na medida do possível, a marcação deve ser posicionada na parte ou nas partes mais estáveis da molécula. Por exemplo, se a substância em causa contiver um anel, é necessária a marcação do mesmo; se a substância contiver dois ou mais anéis, poderá ser necessário efectuar ensaios separados para avaliar o comportamento de cada anel marcado e obter informações adequadas sobre a formação dos produtos de hidrólise. A substância em estudo deve ter uma pureza mínima de 95 %.

Antes da realização de um ensaio de hidrólise, devem conhecer-se os seguintes dados sobre a substância em estudo:

- a) Solubilidade em água [método de ensaio A.6];
- b) Solubilidade em solventes orgânicos;
- c) Pressão de vapor [método de ensaio A.4] e/ou constante de Henry;

- d) Coeficiente de partição n-octanol/água [método de ensaio A.8];
- e) Constante de dissociação (pK_a) [Directriz OECD 112] (9);
- f) Velocidade de fototransformação directa e indirecta em água, se adequado.

Devem existir métodos analíticos para a quantificação da substância em estudo e, caso seja relevante, para a identificação e quantificação dos produtos de hidrólise em solução aquosa (ver também a secção 1.7.2).

1.6. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Sempre que possível, deverão utilizar-se substâncias de referência para a identificação e quantificação dos produtos de hidrólise por métodos espectroscópicos e cromatográficos ou outros métodos de sensibilidade adequada.

1.7. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

1.7.1. Recuperação

A análise, pelo menos em duplicado, das soluções-tampão ou extractos das mesmas imediatamente após a adição da substância em estudo fornece uma primeira indicação da repetibilidade do método analítico e da uniformidade do procedimento de adição da substância. Nas fases posteriores dos ensaios, as recuperações decorrem dos balanços de massas (em caso de utilização de substâncias marcadas). As recuperações deverão situar-se entre 90 % e 110 %, para substâncias marcadas ou não (7). Caso seja tecnicamente difícil atingir este intervalo, é aceitável uma recuperação de 70 % no caso de substâncias não marcadas, devendo, contudo, apresentar-se uma justificação.

1.7.2. Repetibilidade e sensibilidade do método analítico

A repetibilidade do(s) método(s) analítico(s) utilizado(s) para a quantificação da substância em estudo e, posteriormente, dos produtos de hidrólise pode ser comprovada pela análise em duplicado das mesmas soluções-tampão (ou de extractos das mesmas) após a formação de uma quantidade suficiente de produtos de hidrólise para quantificação.

O método analítico deve ser suficientemente sensível para quantificar a substância em estudo em concentrações da ordem de 10 % ou menos da concentração inicial. Se pertinente, os métodos analíticos deverão também ser suficientemente sensíveis para quantificar quaisquer produtos de hidrólise que constituam 10 % ou mais da quantidade adicionada (em qualquer fase do ensaio) até 25 % ou menos da concentração máxima.

1.7.3. Intervalos de confiança para os dados de cinética da hidrólise

Os intervalos de confiança devem ser objecto de tratamento informático de forma a obter os coeficientes de regressão, as constantes de velocidade, os tempos de semitransformação e quaisquer outros parâmetros cinéticos (por exemplo, DT50).

1.8. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.8.1. Equipamento e aparelhagem

O ensaio deve ser realizado em recipientes de vidro (tubos de ensaio ou recipientes pequenos) ao abrigo da luz e em condições estéreis, se necessário, excepto se existirem dados (por exemplo, coeficiente de partição n-octanol-água) que indiquem a possibilidade de a substância em estudo aderir ao vidro. Nesse caso, deverá estudar-se a possibilidade de utilizar materiais alternativos (nomeadamente Teflon). A adesão da substância ao vidro poderá também ser minimizada por recurso a um ou mais dos seguintes métodos:

- determinação da massa de substância em estudo e dos produtos de hidrólise aderentes ao recipiente de ensaio,
- uso de um banho de ultra-sons,
- lavagem com solvente do material de vidro com após a análise de cada amostra,
- uso de produtos na forma de formulações,

- aumento da quantidade de co-solvente utilizada para a adição da substância em estudo ao sistema; em caso de utilização de um co-solvente, este não deverá hidrolisar a substância em estudo.

Em geral, é necessário utilizar agitadores mecânicos de banhos-maria com controlo de temperatura ou incubadores com controlo termostático para a incubação das soluções em estudo.

O equipamento de laboratório de uso corrente deverá incluir, nomeadamente, o seguinte:

- — medidor de pH,
- instrumentos de análise tais como aparelhos de GC, HPLC, TLC, incluindo sistemas adequados de detecção para a análise de substâncias marcadas ou não com radioisótopos ou pelo método de diluição isotópica inversa,
- instrumentos de identificação (MS, GC-MS, HPLC-MS, RMN, etc.),
- contador de cintilação líquida,
- ampolas de decantação para extracção líquido-líquido,
- instrumentos para a concentração das soluções e extractos (por exemplo, evaporador rotativo),
- dispositivo de controlo da temperatura (por exemplo, banho-maria).

Os reagentes incluem, nomeadamente:

- solventes orgânicos de qualidade analítica (hexano, diclorometano, etc.),
- líquido de cintilação,
- soluções-tampão (ver secção 1.8.3).

O material de vidro, a água de qualidade analítica e as soluções-tampão a utilizar nos ensaios de hidrólise devem ser esterilizados.

1.8.2. Adição da substância em estudo

A substância em estudo, na forma de solução aquosa, é adicionada às diversas soluções-tampão (ver apêndice 3). Caso tal seja necessário a uma dissolução adequada, é permitida a utilização de pequenas quantidades de solventes miscíveis com água (tais como acetonitrilo, acetona e etanol) para a adição e difusão da substância em estudo, que não devem contudo exceder, em geral, 1 % (v/v). O recurso a uma concentração mais elevada de solvente (por exemplo, no caso de a substância em estudo ter uma solubilidade reduzida) apenas é permitida se for provado que o solvente não tem efeitos na hidrólise da substância em estudo.

Não se recomenda o uso rotineiro de produtos na forma de formulações, dado que não é de excluir a possibilidade de os ingredientes da formulação interferirem no processo de hidrólise. A utilização dos produtos em causa poderá contudo ser uma alternativa adequada no caso de substâncias em estudo de solubilidade reduzida em água ou que adiram ao vidro (ver a secção 1.8.1).

Deve usar-se uma concentração única da substância em estudo, que não deverá exceder 0,01 M ou metade da concentração de saturação (ver o apêndice 1).

1.8.3. Soluções-tampão

O ensaio de hidrólise deverá ser realizado a pH 4, 7 e 9. Para tal, devem preparar-se soluções-tampão por recurso a produtos com pureza de reagente e água. O apêndice 3 apresenta alguns sistemas-tampão úteis. De referir que o sistema-tampão utilizado poderá influenciar a velocidade de hidrólise, caso em que deverá utilizar-se um sistema-tampão alternativo ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Mabey e Mill recomendam o uso de tampões de borato ou acetato em vez de fosfato (11).

O pH de cada solução-tampão deverá ser comprovado com o auxílio de um medidor de pH com uma precisão mínima de 0,1, à temperatura requerida.

1.8.4. **Condições de ensaio**

1.8.4.1. *Temperatura*

Os ensaios de hidrólise devem ser realizados a temperaturas constantes. Para fins de extrapolação, é importante manter a temperatura com uma aproximação mínima de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Caso o comportamento hidrolítico da substância em estudo seja desconhecido, deverá proceder-se a um ensaio preliminar (nível 1) à temperatura de 50°C . Devem realizar-se ensaios cinéticos de nível superior a, pelo menos, três temperaturas (incluindo o ensaio a 50°C), excepto se o ensaio de nível 1 tiver demonstrado a estabilidade hidrolítica da substância em estudo. Sugere-se uma gama de temperaturas compreendida entre 10°C e 70°C (em princípio, deverá realizar-se pelo menos um ensaio a uma temperatura inferior a 25°C), que abrange a temperatura de referência de 25°C e a maioria das temperaturas registadas em campo.

1.8.4.2. *Luz e oxigénio*

Nos ensaios de hidrólise deverão utilizar-se quaisquer métodos adequados para evitar os efeitos fotolíticos. Deve recorrer-se a todas as medidas adequadas para evitar a oxigenação (por exemplo, fazendo borbulhar hélio, azoto ou árgon durante 5 minutos antes de preparar a solução).

1.8.4.3. *Duração do ensaio*

O ensaio preliminar deverá ser realizado em 5 dias; os ensaios de nível superior deverão ser realizados até se verificar a hidrólise de 90 % da substância em estudo ou em 30 dias, consoante o que ocorrer primeiro.

1.8.5. **Realização do ensaio**

1.8.5.1. *Ensaio preliminar (Nível 1)*

O ensaio preliminar é realizado a $50 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e pH 4,0, 7,0 e 9,0. Se, após 5 dias, a extensão da hidrólise não exceder 10 % ($t_{0,5\ 25^{\circ}\text{C}} > 1$ ano), a substância em estudo é considerada hidroliticamente estável, não sendo necessário proceder a ensaios complementares. Se for conhecida a instabilidade da substância a temperaturas relevantes no plano ambiental ⁽¹⁾, não é necessário realizar o ensaio preliminar. O método analítico deverá ser suficientemente preciso e sensível para detectar uma redução de 10 % da concentração inicial.

1.8.5.2. *Hidrólise de substâncias instáveis (Nível 2)*

O ensaio de nível superior (ensaio avançado) deverá realizar-se a valores de pH aos quais a substância em estudo se revelou instável no ensaio preliminar. As soluções tamponadas da substância em estudo devem ser termostatadas às temperaturas escolhidas. No caso da pesquisa de reacções de primeira ordem, cada solução deverá ser analisada a intervalos de tempo que permitam obter, no mínimo, seis valores (pontos) compreendidos, em princípio, entre 10 % e 90 % da hidrólise da substância em estudo. Remover as amostras individuais múltiplas (deve proceder-se, no mínimo, à análise de duplicados em recipientes de reacção separados) e analisar o conteúdo correspondente a cada um dos seis tempos de reacção (desta forma, obtêm-se, no mínimo, doze pontos). Considera-se inadequada a utilização de uma solução-mãe da qual se retiram alíquotas da solução em estudo em cada intervalo de amostragem, dado que não permite a análise da variabilidade dos dados e pode levar à contaminação da solução em estudo. Devem realizar-se ensaios de confirmação da esterilidade no final do ensaio de nível superior (90 % de hidrólise ou 30 dias). Todavia, estes ensaios não são necessários se não tiver sido observada qualquer transformação.

1.8.5.3. *Identificação dos produtos de hidrólise (Nível 3)*

Todos os principais produtos de hidrólise, designadamente os que representam um teor igual ou superior a 10 % da dose adicionada, devem ser identificados por métodos analíticos adequados.

1.8.5.4. *Ensaio facultativos*

As substâncias hidroliticamente instáveis poderão necessitar de ensaios complementares a valores de pH diversos de 4, 7 e 9. Para fins fisiológicos, por exemplo, poderá ser necessário efectuar um ensaio em condições mais ácidas (por exemplo, pH 1,2) a uma única temperatura fisiologicamente relevante (37°C).

⁽¹⁾ A informação em causa pode provir de outras fontes, nomeadamente dados sobre a hidrólise de compostos estruturalmente afins obtidos na literatura ou dados de outros ensaios preliminares de hidrólise à escala semiquantitativa com a substância em estudo num estágio de desenvolvimento mais elementar.

2. DADOS

Se pertinente, as quantidades de substâncias em estudo e produtos de hidrólise devem ser expressas em percentagem da concentração inicial adicionada e, se adequado, em mg/l, para cada intervalo de amostragem, cada pH e cada temperatura de ensaio. Além disso, no caso da utilização de uma substância marcada, deve apresentar-se um balanço de massa expresso em percentagem da concentração inicial adicionada.

Deve apresentar-se uma representação gráfica dos logaritmos das concentrações da substância em estudo em função do tempo. Os principais produtos de hidrólise (os que representem, pelo menos, 10 % da dose adicionada) devem ser identificados, procedendo-se à representação gráfica dos logaritmos das suas concentrações em função do tempo tal como no caso da substância de origem, de forma a evidenciar as suas velocidades de formação e transformação.

2.1. TRATAMENTO DOS RESULTADOS

É possível efectuar determinações mais precisas dos tempos de semitransformação ou dos parâmetros DT_{50} por recurso a cálculos com modelos cinéticos adequados. Devem comunicar-se, para cada pH e temperatura, os tempos de semitransformação e/ou os parâmetros DT_{50} (incluindo os limites de confiança), juntamente com uma descrição do modelo utilizado, a ordem cinética e o coeficiente de determinação (r^2). Se adequado, os cálculos deverão também abranger os produtos de hidrólise.

No caso do estudo de velocidades de reacção efectuados a temperaturas diferentes, as constantes de hidrólise de pseudoprimeira ordem (k_{obs}) devem ser descritas em função da temperatura. Os cálculos deverão basear-se, por um lado, na decomposição de k_{obs} em constantes de velocidade de hidrólise catalisada em meio ácido, neutro ou básico (k_H , k_{neutro} e k_{OH} respectivamente) e, por outro, na equação de Arrhenius:

$$k_{obs} = k_H[H^+] + k_{neutro} + k_{OH}[OH^-] = \sum_{i=H,neutro,OH} A_i e^{-B_i/T}$$

em que A_i e B_i são as constantes de regressão decorrentes, respectivamente, do declive e da ordenada na origem da linha mais adequada obtida por regressão linear $\ln k_i$ em função do inverso da temperatura absoluta, expressa em Kelvin (T). A aplicação da equação de Arrhenius à hidrólise catalisada em meio ácido, neutro e básico permite calcular as constantes de velocidade de pseudoprimeira ordem e, consequentemente, as meias vidas, para temperaturas às quais a determinação directa da constante de velocidade não é viável na prática (10).

2.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A maioria das reacções de hidrólise apresenta uma cinética aparente de primeira ordem, pelo que os tempos de semitransformação são independentes da concentração (ver a equação 4 do apêndice 2). Tal facto permite, em geral, a extrapolação dos resultados laboratoriais determinados com concentrações de 10^{-2} - 10^{-3} M às condições ambientais ($< 10^{-6}$ M) (10). Mabey e Mill (11) comunicaram vários exemplos de bom acordo entre as velocidades de hidrólise de diversas substâncias químicas determinadas em águas puras e naturais, a pH e temperaturas bem determinados.

3. RELATÓRIOS

3.1. RELATÓRIO DE ENSAIO

O relatório de ensaio deverá incluir, no mínimo, as seguintes informações:

Substância em estudo:

- denominação comum, denominação química, número CAS, fórmula estrutural (com indicação da posição marcada, caso se utilizem radioisótopos) e propriedades físico-químicas relevantes (ver a secção 1.5),
- pureza da substância (presença de impurezas),
- pureza declarada da substância marcada e respectiva actividade molar (se pertinente).
- Soluções-tampão:
- datas e pormenores de preparação,

- tampões e água utilizados,
- molaridade e pH das soluções-tampão.

Condições de ensaio:

- data da realização dos estudos,
- quantidade de substância em estudo adicionada,
- método e solventes (tipo e quantidade) utilizados para a adição da substância em estudo,
- volume de soluções tamponadas da substância em estudo incubadas,
- descrição do sistema de incubação utilizado,
- pH e temperatura durante o estudo,
- cronologia da colheita de amostras,
- método(s) de extracção,
- métodos de quantificação e identificação da substância em estudo e dos seus produtos de hidrólise nas soluções-tampão,
- número de amostras múltiplas.

Resultados:

- repetibilidade e sensibilidade dos métodos de análise utilizados,
- recuperações (apresentam-se na secção 1.7.1 os valores percentuais relativos a um ensaio válido),
- dados e médias respeitantes às amostras múltiplas, apresentados na forma de quadros,
- balanço de massas durante e no final do estudo (caso se utilize uma substância marcada),
- resultados do ensaio preliminar,
- discussão e interpretação dos resultados,
- dados e valores originais.

As informações que se seguem apenas são necessárias caso se determine a velocidade de hidrólise:

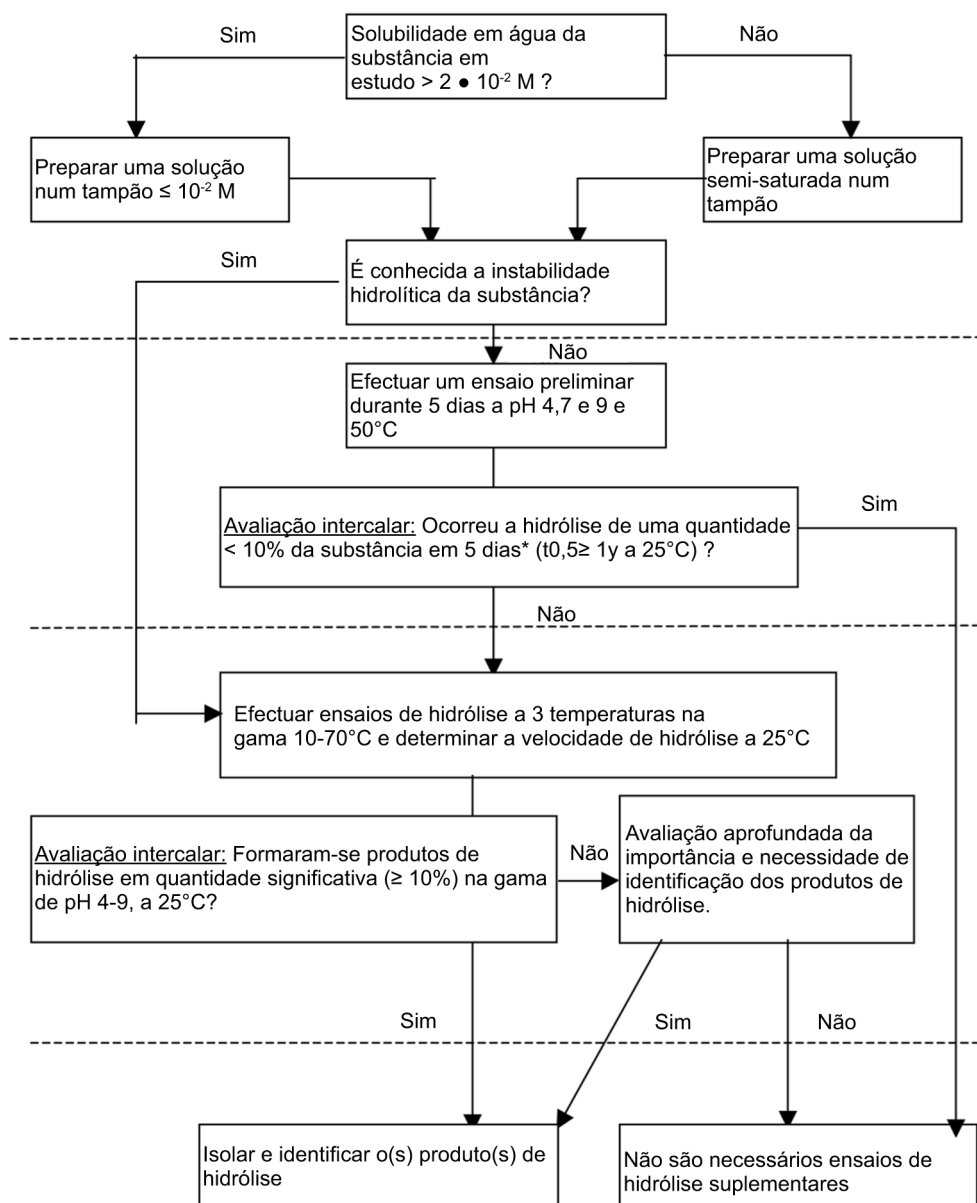
- representação gráfica das concentrações da substância em estudo e, se pertinente, dos produtos de hidrólise, em função do tempo, a cada pH e temperatura,
- tabelas de resultados da equação de Arrhenius à temperatura de 20 °C/25 °C,
- especificando o pH, a constante de velocidade [h^{-1} ou dia^{-1}], o tempo de semitransformação ou o DT50, as temperaturas [°C], incluindo os limites de confiança e os coeficientes de correlação (r^2), ou dados similares,
- mecanismo de hidrólise proposto.

4. **REFERÊNCIAS**

- (1) OECD (1981). Hydrolysis as a Function of pH. OECD Guideline for Testing of Chemicals Nr. 111, adoptado em 12 de Maio de 1981.
- (2) US-Environmental Protection Agency (1982). 40 CFR 796.3500, Hydrolysis as a Function of pH at 25°C. Pesticide Assessment Guidelines, Subdivision N. Chemistry: Environmental Fate.
- (3) Agriculture Canada (1987). Environmental Chemistry and Fate Guidelines for registration of pesticides in Canada.
- (4) União Europeia (UE) (1995). Directiva 95/36/CE da Comissão que altera a Directiva 91/414/CEE relativa à colocação dos produtos fitofarmacêuticos no mercado. Anexo V: destino e comportamento no ambiente.
- (5) Dutch Commission for Registration of Pesticides (1991). Application for registration of a pesticide. Section G: Behaviour of the product and its metabolites in soil, water and air.
- (6) BBA (1980). Merkblatt Nr. 55, Teil I und II: Prüfung des Verhaltens von Pflanzenbehandlungsmitteln im Wasser (Outubro de 1980).
- (7) SETAC (1995). Procedures for Assessing the Environmental Fate and Ecotoxicity of Pesticides. Mark R. Lynch, Ed.
- (8) OECD (2000). Guidance document on aquatic toxicity testing of difficult substances and mixtures, OECD Environmental Health and Safety Publications Series on Testing and Assessment No 23.
- (9) OECD (1993). Guidelines for the Testing of Chemicals. Paris. OECD (1994-2000): Addenda 6-11 to Guidelines for the Testing of Chemicals.
- (10) Nelson, H, Laskowski D, Thermes S, and Hendley P. (1997) Recommended changes in pesticide fate study guidelines for improving input to computer models (texto de uma exposição oral no 14.º Encontro Anual da *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*, Dallas TX, November 1993).
- (11) Mabey, W. and Mill, T. (1978). Critical review of hydrolysis of organic compounds in water under environmental conditions. J. Phys. Chem. Ref. Data 7, 383-415.

Apêndice 1

Representação esquemática do ensaio de hidrólise progressivo



* 10 % de hidrólise da substância em estudo a 50 °C corresponde a um tempo de semi-transformação de cerca de 30 dias, equivalente a cerca de 1 ano a 25°C.

Apêndice 2

Definições e unidades

Devem usar-se sistematicamente **unidades do Sistema Internacional (SI)**.

Substância em estudo: substância de origem ou produtos de transformação relevantes.

Produtos de transformação: quaisquer substâncias resultantes da transformação biótica ou abiótica da substância em estudo.

Produtos de hidrólise: quaisquer substâncias resultantes de reacções de transformação hidrolítica da substância em estudo.

Hidrólise: reacção de uma substância em estudo RX com água, com troca do grupo X com um grupo OH:



De forma simplificada, a velocidade de redução da concentração de RX é dada por

velocidade = $k [\text{H}_2\text{O}] [\text{RX}]$ reacção de segunda ordem

ou

velocidade = $k [\text{RX}]$ reacção de primeira ordem

em função do passo determinante da velocidade. Uma vez que a água se encontra presente em grande excesso relativamente à substância em estudo, o tipo de reacção em causa é geralmente descrito como de pseudoprimera ordem. A constante de velocidade observada é expressa do seguinte modo

$$k_{\text{obs}} = k [\text{H}_2\text{O}] \quad [2]$$

e pode ser determinada por recurso à expressão (*)

$$k_{\text{obs}} = \frac{1}{t} \ln \frac{C_0}{C_t} \quad [3]$$

em que

t = tempo

C_0 , C_t = concentrações de RX nos instantes 0 e t.

A constante tem dimensões de $(\text{tempo})^{-1}$; o tempo de semitransformação (tempo necessário para a reacção de 50 % da substância RX) é dada por

$$t_{0,5} = \frac{\ln 2}{k_{\text{obs}}} \quad [4]$$

Tempo de semitransformação: ($t_{0,5}$) tempo necessário à hidrólise de 50 % da substância em estudo, no caso de uma reacção com cinética de primeira ordem. É independente da concentração.

DT₅₀ (Tempo de semi-reacção): tempo necessário a uma redução de 50 % da concentração da substância em estudo. É diferente do tempo de semitransformação, $t_{0,5}$, se a reacção não apresentar uma cinética de primeira ordem.

(*) Se a representação dos logaritmos das concentrações em função do tempo não for uma função linear (facto que traduz uma cinética de primeira ordem), o recurso à equação [3] não é adequado à determinação da constante de velocidade da hidrólise da substância em estudo.

Estimativa de k a uma temperatura diferente

Sempre que sejam conhecidas as constantes de velocidade a duas temperaturas, as constantes a outras temperaturas podem ser calculadas por recurso à equação de Arrhenius:

$$k = A \times e^{-\frac{E}{R \times T}} \text{ ou } \ln k = \frac{-E}{R \times T} + \ln A$$

Por representação de $\ln k$ em função de $1/T$ obtém-se uma recta com declive $-E/R$

em que:

k = constante de velocidade, determinada a temperaturas diferentes

E = energia de activação [kJ/mol]

T = temperatura absoluta [K]

R = constante dos gases [8,314 J/mol.K]

A energia de activação foi calculada por análise da seguinte equação por regressão linear:

$$E = R \times \frac{\ln k_2 - \ln k_1}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)}$$

em que: $T_2 > T_1$.

Apendice 3

Sistemas-tampão

A. CLARK E LUBS:

Misturas-tampão de CLARK e LUBS (*)

Composição	pH
0,2 N HCl e 0,2 N KCl a 20 °C	
47,5 ml HCl + 25 ml KCl dil. para 100 ml	1,0
32,25 ml HCl + 25 ml KCl dil. para 100 ml	1,2
20,75 ml HCl + 25 ml KCl dil. para 100 ml	1,4
13,15 ml HCl + 25 ml KCl dil. para 100 ml	1,6
8,3 ml HCl + 25 ml KCl dil. para 100 ml	1,8
5,3 ml HCl + 25 ml KCl dil. para 100 ml	2,0
3,35 ml HCl + 25 ml KCl dil. para 100 ml	2,2
0,1 M biftalato de potássio + 0,1 N HCl a 20 °C	
46,70 ml 0,1 N HCl + 50 ml biftalato dil. para 100 ml	2,2
39,60 ml 0,1 N HCl + 50 ml biftalato dil. para 100 ml	2,4
32,95 ml 0,1 N HCl + 50 ml biftalato dil. para 100 ml	2,6
26,42 ml 0,1 N HCl + 50 ml biftalato dil. para 100 ml	2,8
20,32 ml 0,1 N HCl + 50 ml biftalato dil. para 100 ml	3,0
14,70 ml 0,1 N HCl + 50 ml biftalato dil. para 100 ml	3,2
9,90 ml 0,1 N HCl + 50 ml biftalato dil. para 100 ml	3,4
5,97 ml 0,1 N HCl + 50 ml biftalato dil. para 100 ml	3,6
2,63 ml 0,1 N HCl + 50 ml biftalato dil. para 100 ml	3,8
0,1 M biftalato de potássio + 0,1 N NaOH a 20 °C	
0,40 ml 0,1 N NaOH + 50 ml biftalato dil. para 100 ml	4,0
3,70 ml 0,1 N NaOH + 50 ml biftalato dil. para 100 ml	4,2
7,50 ml 0,1 N NaOH + 50 ml biftalato dil. para 100 ml	4,4
12,15 ml 0,1 N NaOH + 50 ml biftalato dil. para 100 ml	4,6
17,70 ml 0,1 N NaOH + 50 ml biftalato dil. para 100 ml	4,8

(*) Os valores de pH constantes dos quadros foram calculados com base em determinações potenciométricas, por recurso às equações-padrão de Sørensen (1909). Os valores de pH correspondentes são superiores em 0,04 aos valores constantes dos quadros.

Composição	pH
23,85 ml 0,1 N NaOH + 50 ml biftalato dil. para 100 ml	5,0
29,95 ml 0,1 N NaOH + 50 ml biftalato dil. para 100 ml	5,2
35,45 ml 0,1 N NaOH + 50 ml biftalato dil. para 100 ml	5,4
39,85 ml 0,1 N NaOH + 50 ml biftalato dil. para 100 ml	5,6
43,00 ml 0,1 N NaOH + 50 ml biftalato dil. para 100 ml	5,8
45,45 ml 0,1 N NaOH + 50 ml biftalato dil. para 100 ml	6,0
0,1 M fosfato monopotássico + 0,1 N NaOH a 20 °C	
5,70 ml 0,1 N NaOH + 50 ml fosfato dil. para 100 ml	6,0
8,60 ml 0,1 N NaOH + 50 ml fosfato dil. para 100 ml	6,2
12,60 ml 0,1 N NaOH + 50 ml fosfato dil. para 100 ml	6,4
17,80 ml 0,1 N NaOH + 50 ml fosfato dil. para 100 ml	6,6
23,45 ml 0,1 N NaOH + 50 ml fosfato dil. para 100 ml	6,8
29,63 ml 0,1 N NaOH + 50 ml fosfato dil. para 100 ml	7,0
35,00 ml 0,1 N NaOH + 50 ml fosfato dil. para 100 ml	7,2
39,50 ml 0,1 N NaOH + 50 ml fosfato dil. para 100 ml	7,4
42,80 ml 0,1 N NaOH + 50 ml fosfato dil. para 100 ml	7,6
45,20 ml 0,1 N NaOH + 50 ml fosfato dil. para 100 ml	7,8
46,80 ml 0,1 N NaOH + 50 ml fosfato dil. para 100 ml	8,0
0,1 M H₃B₃O₃ em 0,1 M KCl + 0,1 N NaOH a 20 °C	
2,61 ml 0,1 N NaOH + 50 ml ácido bórico dil. para 100 ml	7,8
3,97 ml 0,1 N NaOH + 50 ml ácido bórico dil. para 100 ml	8,0
5,90 ml 0,1 N NaOH + 50 ml ácido bórico dil. para 100 ml	8,2
8,50 ml 0,1 N NaOH + 50 ml ácido bórico dil. para 100 ml	8,4
12,00 ml 0,1 N NaOH + 50 ml ácido bórico dil. para 100 ml	8,6
16,30 ml 0,1 N NaOH + 50 ml ácido bórico dil. para 100 ml	8,8
21,30 ml 0,1 N NaOH + 50 ml ácido bórico dil. para 100 ml	9,0
26,70 ml 0,1 N NaOH + 50 ml ácido bórico dil. para 100 ml	9,2

32,00 ml 0,1 N NaOH + 50 ml ácido bórico dil. para 100 ml	9,4
36,85 ml 0,1 N NaOH + 50 ml ácido bórico dil. para 100 ml	9,6
40,80 ml 0,1 N NaOH + 50 ml ácido bórico dil. para 100 ml	9,8
43,90 ml 0,1 N NaOH + 50 ml ácido bórico dil. para 100 ml	10,0

B. KOLTHOFF AND VLEESCHHOUWER:

Tampões de citrato de KOLTHOFF e VLEESCHHOUWER

Composição	pH
0,1 M citrato monopotássico e 0,1 N HCl a 18 °C (*)	
49,7 ml 0,1 N HCl + 50 ml citrato dil. para 100 ml	2,2
43,4 ml 0,1 N HCl + 50 ml citrato dil. para 100 ml	2,4
36,8 ml 0,1 N HCl + 50 ml citrato dil. para 100 ml	2,6
30,2 ml 0,1 N HCl + 50 ml citrato dil. para 100 ml	2,8
23,6 ml 0,1 N HCl + 50 ml citrato dil. para 100 ml	3,0
17,2 ml 0,1 N HCl + 50 ml citrato dil. para 100 ml	3,2
10,7 ml 0,1 N HCl + 50 ml citrato dil. para 100 ml	3,4
4,2 ml 0,1 N HCl + 50 ml citrato dil. para 100 ml	3,6
0,1 M citrato monopotássico e 0,1 N NaOH a 18 °C (*)	
2,0 ml 0,1 N NaOH + 50 ml citrato dil. para 100 ml	3,8
9,0 ml 0,1 N NaOH + 50 ml citrato dil. para 100 ml	4,0
16,3 ml 0,1 N NaOH + 50 ml citrato dil. para 100 ml	4,2
23,7 ml 0,1 N NaOH + 50 ml citrato dil. para 100 ml	4,4
31,5 ml 0,1 N NaOH + 50 ml citrato dil. para 100 ml	4,6
39,2 ml 0,1 N NaOH + 50 ml citrato dil. para 100 ml	4,8
46,7 ml 0,1 N NaOH + 50 ml citrato dil. para 100 ml	5,0
54,2 ml 0,1 N NaOH + 50 ml citrato dil. para 100 ml	5,2
61,0 ml 0,1 N NaOH + 50 ml citrato dil. para 100 ml	5,4
68,0 ml 0,1 N NaOH + 50 ml citrato dil. para 100 ml	5,6
74,4 ml 0,1 N NaOH + 50 ml citrato dil. para 100 ml	5,8
81,2 ml 0,1 N NaOH + 50 ml citrato dil. para 100 ml	6,0

(*) Deve adicionar-se um pequeno cristal de timol ou de uma substância afim para evitar a formação de depósitos molds.

C. SÖRENSEN:

Misturas de boratos de SÖRENSEN

Composição		Sörensen 18 °C	Walbum, pH a		
ml Borax	ml HCl/ /NaOH		10 °C	40 °C	70 °C
0,05 M borax + 0,1 N HCl					
5,25	4,75	7,62	7,64	7,55	7,47
5,50	4,50	7,94	7,98	7,86	7,76
5,75	4,25	8,14	8,17	8,06	7,95
6,00	4,00	8,29	8,32	8,19	8,08
6,50	3,50	8,51	8,54	8,40	8,28
7,00	3,00	8,08	8,72	8,56	8,40
7,50	2,50	8,80	8,84	8,67	8,50
8,00	2,00	8,91	8,96	8,77	8,59
8,50	1,50	9,01	9,06	8,86	8,67
9,00	1,00	9,09	9,14	8,94	8,74
9,50	0,50	9,17	9,22	9,01	8,80
10,00	0,00	9,24	9,30	9,08	8,86
0,05 M borax + 0,1 N NaOH					
10,0	0,0	9,24	9,30	9,08	8,86
9,0	1,0	9,36	9,42	9,18	8,94
8,0	2,0	9,50	9,57	9,30	9,02
7,0	3,0	9,68	9,76	9,44	9,12
6,0	4,0	9,97	10,06	9,67	9,28

Misturas de fosfatos de SÖRENSEN

Composição	pH
0,0667 M fosfato monopotássico + 0,0667 M fosfato dissódico a 20°C	
99,2 ml KH_2PO_4 + 0,8 ml Na_2HPO_4	5,0
98,4 ml KH_2PO_4 + 1,6 ml Na_2HPO_4	5,2
97,3 ml KH_2PO_4 + 2,7 ml Na_2HPO_4	5,4
95,5 ml KH_2PO_4 + 4,5 ml Na_2HPO_4	5,6
92,8 ml KH_2PO_4 + 7,2 ml Na_2HPO_4	5,8
88,9 ml KH_2PO_4 + 11,1 ml Na_2HPO_4	6,0
83,0 ml KH_2PO_4 + 17,0 ml Na_2HPO_4	6,2
75,4 ml KH_2PO_4 + 24,6 ml Na_2HPO_4	6,4
65,3 ml KH_2PO_4 + 34,7 ml Na_2HPO_4	6,6
53,4 ml KH_2PO_4 + 46,6 ml Na_2HPO_4	6,8

41,3 ml KH_2PO_4 + 58,7 ml Na_2HPO_4	7,0
29,6 ml KH_2PO_4 + 70,4 ml Na_2HPO_4	7,2
19,7 ml KH_2PO_4 + 80,3 ml Na_2HPO_4	7,4
12,8 ml KH_2PO_4 + 87,2 ml Na_2HPO_4	7,6
7,4 ml KH_2PO_4 + 92,6 ml Na_2HPO_4	7,8
3,7 ml KH_2PO_4 + 96,3 ml Na_2HPO_4	8,0

C.8. TOXICIDADE EM RELAÇÃO ÀS MINHOCAS

ENSAIO UTILIZANDO SOLO ARTIFICIAL

1. MÉTODO

1.1. INTRODUÇÃO

Neste ensaio laboratorial, a substância de ensaio é adicionada a um solo artificial no qual são colocadas minhocas durante 14 dias. Após este período (e, facultativamente, após 7 dias) examina-se o efeito letal da substância nas minhocas. O ensaio fornece um método para a avaliação, num prazo relativamente curto, do efeito dos produtos químicos nas minhocas, por absorção via cutânea e alimentar.

1.2. DEFINIÇÃO E UNIDADE

Cl₅₀: a concentração de uma substância que se considera responsável pela morte de 50 % dos animais de ensaio durante o período de ensaio.

1.3. SUBSTÂNCIA DE REFERÊNCIA

É utilizada periodicamente uma substância de referência com o objectivo de demonstrar que a sensibilidade do sistema de ensaio não variou significativamente.

Recomenda-se como substância de referência a cloroacetamida de pureza analítica.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO

O solo constitui um meio variável e, por essa razão, é utilizado neste ensaio um solo franco artificial cuidadosamente definido. As minhocas adultas da espécie *Eisenia foetida* (ver nota em apêndice) são mantidas num solo artificial, tratado com diferentes concentrações da substância de ensaio. O conteúdo dos recipientes é espalhado sobre um tabuleiro 14 dias (e facultativamente sete dias) após o início do ensaio e contam-se as minhocas sobreviventes, para cada uma das concentrações.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

Pretende-se que o ensaio seja o mais reprodutível possível no que diz respeito ao substrato e ao organismo a ensaiar. A mortalidade nos controlos não deve exceder 10 % no termo do ensaio, caso contrário este não é válido.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.6.1. Materiais

1.6.1.1. Substrato para o ensaio

É utilizado como substrato de base para o ensaio um solo artificial de constituição bem definida.

a) Substrato de base (as percentagens são expressas em termos de peso seco):

- 10 % de turfa de esfagno (tão próximo quanto possível do pH 5,5- 6,0, sem resíduos vegetais visíveis e finamente moído),
- 20 % de argila caulínica, de preferência com mais de 50 % de caulinite,
- cerca de 69 % de areia industrial com quartzo (predominância de areia fina com mais de 50 % de partículas de granulometria 0,05- 0,2 mm). Se a substância não for suficientemente dispersível em água, é necessário dispor de 10 g por recipiente de ensaio para misturar posteriormente com a substância de ensaio,
- cerca de 1 % de carbonato de cálcio (CaCO₃) pulverizado e quimicamente puro para ajustar o pH a 6,0 ± 0,5;

b) Substrato para o ensaio

O substrato para o ensaio contém substrato de base, a substância de ensaio e água desionizada.

O teor em água deve corresponder a cerca de 25-42 % do peso seco do substrato de base. O teor em água do substrato determina-se por secagem da amostra a 105°C até se obter um peso constante. O critério-chave é que o solo artificial seja humedecido até à sua saturação. Deve-se proceder à sua mistura cuidadosamente de modo a obter uma distribuição uniforme da substância de ensaio e do substrato. Deve ser referido o modo como é introduzida a substância de ensaio no substrato;

c) Substrato de controlo

O substrato de controlo contém o substrato de base e água. Se se utilizar um aditivo, um substrato de controlo suplementar deverá conter idêntica quantidade do aditivo.

1.6.1.2. Recipientes de ensaio

Recipientes em vidro, com uma capacidade aproximada de um litro (adequadamente cobertos com tampas de plástico, discos ou filme de plástico perfurados para efeitos de ventilação) cheios com uma dada quantidade de substrato húmido para ensaio ou substrato de controlo, equivalente a 500 g de substrato seco.

1.6.2. Condições do ensaio

Os recipientes devem ser mantidos em câmaras climatizadas a uma temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ com luz contínua. A intensidade da luz deve situar-se entre 400 e 800 lux.

A duração do ensaio é de 14 dias, mas pode-se optar por avaliar a mortalidade após terem decorrido 7 dias desde o início do ensaio.

1.6.3. Método de ensaio

Concentrações de ensaio

As concentrações da substância de ensaio são expressas em peso de substância por unidade de peso seco do substrato de base (mg/kg).

Ensaio de determinação de concentrações

O intervalo de concentrações susceptível de provocar mortalidades de zero a 100 % pode ser determinado num ensaio de determinação de concentrações, com o objectivo de fornecer informações relativas ao intervalo de concentrações a utilizar no ensaio definitivo.

A substância deve ser ensaiada nas seguintes concentrações: 1 000; 100; 10; 1; 0,1 mg substância/kg de substrato de ensaio (peso seco).

Se se efectuar um ensaio definitivo completo, um meio de ensaio por cada concentração e um meio para o controlo não tratado, cada um dos quais com dez minhocas, pode ser suficiente para o ensaio de determinação de concentrações.

Ensaio definitivo

Os resultados do ensaio de determinação de concentrações são utilizados para escolher pelo menos cinco concentrações segundo uma série geométrica que provoquem uma mortalidade de 0 a 100 %, diferindo entre si de um factor constante não superior a 1,8.

Um ensaio que utilize estas séries de concentração deve permitir avaliar com a maior precisão possível o valor de CL_{50} e os respectivos limites de confiança.

No ensaio definitivo utilizam-se pelo menos quatro meios de ensaio por concentração e quatro meios de controlo sem tratamento, cada um deles com dez minhocas. Os resultados das repetições destes meios são expressos em termos de média e desvio padrão.

Quando duas concentrações consecutivas, com uma razão de 1,8 entre si, dão apenas mortalidades de 0 % e 100 %, esses dois valores são suficientes para determinar o intervalo em que se situa a CL_{50} .

Mistura do substrato de base para o ensaio e da substância de ensaio

Sempre que possível, o substrato para o ensaio deve ser preparado sem quaisquer aditivos além de água. Prepara-se uma emulsão ou dispersão da substância de ensaio em água desionizada ou outro solvente e, imediatamente antes do início do ensaio, mistura-se com o substrato de base para o ensaio, ou pulveriza-se uniformemente sobre ele, com um dispositivo de pulverização para cromatografia fina ou outro semelhante.

Se a substância de ensaio for insolúvel em água, pode ser dissolvida num determinado volume, o mais pequeno possível, de um solvente orgânico adequado (por exemplo, hexano, acetona ou clorofórmio).

Para solubilizar, dispersar ou emulsionar a substância de ensaio apenas se podem utilizar agentes que se volatilizem facilmente. O substrato para o ensaio deve ser arejado antes de ser utilizado. A quantidade de água evaporada deve ser substituída. O controlo deve conter a mesma quantidade de qualquer aditivo.

Se a substância de ensaio não for solúvel, dispersível ou emulsionável, em solventes orgânicos, misturam-se 490 g de substrato de ensaio seco com 10 g de uma mistura de areia fina com quartzo e uma quantidade de substância de ensaio correspondente à dose necessária para tratar 500 g de solo artificial seco.

Para cada meio de ensaio, são colocados, em cada recipiente de vidro, uma dada quantidade de substrato húmido para o ensaio, equivalente a 500 g de peso seco e, sobre a superfície do substrato para o ensaio, 10 minhocas. Estas minhocas foram acondicionadas durante 24 horas num substrato de base húmido semelhante ao de ensaio, após o que foram rapidamente lavadas e a água em excesso absorvida com um papel de filtro antes da utilização.

Os recipientes são cobertos com tampas de plástico, discos ou filmes de plástico perfurados para evitar que o substrato seque e são mantidos nas condições de ensaio durante 14 dias.

A avaliação deve ser efectuada 14 dias (e facultativamente sete dias) após o início do ensaio. O substrato é espalhado sobre uma placa de vidro ou aço inoxidável. Examinam-se então as minhocas e determina-se o número de sobreviventes. Considera-se que as minhocas estão mortas se não reagirem a um ligeiro estímulo mecânico aplicado na extremidade frontal.

Quando o exame é efectuado no 7.º dia, o recipiente enche-se novamente com substrato e as minhocas sobreviventes são de novo colocadas na mesma superfície do substrato de ensaio.

1.6.4. *Organismos a utilizar no ensaio*

Os organismos a utilizar no ensaio devem ser adultos da espécie *Eisenia foetida* (ver nota em apêndice) (pelo menos com 2 meses de vida e com clitelo), com peso húmido de 300 a 600 mg (ver método de reprodução em apêndice).

2. DADOS

2.1. PROCESSAMENTO E AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

As concentrações da substância de ensaio apresentam-se em função das percentagens correspondentes de minhocas mortas.

Quando os dados são adequados, o valor CL_{50} e os limites de confiança ($p = 0,05$) devem ser determinados utilizando métodos padrão (*Litchfield e Wilcoxon*, 1949, ou método equivalente). O valor CL_{50} deve ser expresso em mg de substância de ensaio por kg de substrato de ensaio (peso seco).

Nos casos em que o declive da curva de concentrações é demasiado abrupto para permitir o cálculo da CL_{50} , é suficiente uma estimativa gráfica deste valor.

Quando duas concentrações consecutivas com uma razão de 1,8 entre si provocam 0 % e 100 % de mortalidade, estes dois valores são suficientes para indicar o intervalo entre o qual se situa a CL_{50} .

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deve incluir, se possível, as seguintes informações:

- referir se o ensaio foi efectuado de acordo com os critérios de qualidade acima mencionados,
- tipo de ensaio (ensaio de determinação de concentrações e/ou ensaio definitivo),
- descrição exacta das condições de ensaio ou referir se o ensaio foi efectuado de acordo com o método; devem ser referidos todos os desvios em relação ao método indicado,
- descrição exacta do modo como a substância de ensaio foi misturada com o substrato de base para o ensaio,
- informações relativas aos organismos utilizados no ensaio (espécie, idade, peso médio e intervalo de variação do peso, condições de reprodução e manutenção, fornecedor),
- método utilizado na determinação da CL₅₀,
- resultados dos ensaios, incluindo todos os dados utilizados,
- descrição dos sintomas ou alterações do comportamento observados nos organismos utilizados no ensaio,
- mortalidade nos controlos,
- CL₅₀ ou a mais elevada concentração ensaiada que não provocou mortalidade e a concentração ensaiada mais baixa que provocou uma mortalidade de 100 %, catorze dias (e facultativamente sete dias) após o início do ensaio,
- representação gráfica da curva concentração-resposta,
- resultados obtidos com a substância de referência quer em relação ao presente ensaio quer provenientes de anteriores ensaios de controlo de qualidade.

4. REFERÊNCIAS

- (1) OCDE, Paris, 1981, *Test Guideline 207*, Decisão C(81) 30 final do Conselho.
- (2) Edwards, C. A. and Lofty, J. R. *Biology of Earthworms*, Chapman and Hall, London, 331 pp.
- (3) Bouche, M. B., 1972, *Lombriciens de France, Ecologie et Systematique*, Institut National de la Recherche Agronomique, 671 pp.
- (4) Litchfield, J. T. and Wilcoxon, F., A simplified method of evaluating dose effect experiments, *J. Pharm. Exp. Therap.*, vol. 96, 1949, p. 99.
- (5) Comissão das Comunidades Europeias, *Development of a standardized laboratory method for assessing the toxicology of chemical substances to earthworms*, Report EUR 8714 EN, 1983.
- (6) Umweltbundesamt/Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin, 1984, Verfahrensvorschlag «Toxizitätstest am Regenwurm *Eisenia foetida* in künstlichem Boden», in: Rudolph/Boje, *Ökotoxikologie*, ecomed. Landsberg, 1986.

Apêndice**Reprodução e manutenção das minhocas antes do ensaio**

Para reproduzir os animais, colocar 30 a 50 minhocas adultas numa caixa de reprodução com substrato fresco e removê-las ao fim de 14 dias. Estes animais podem ser utilizados para futuros lotes de reprodução. As posturas são utilizadas no ensaio quando atingirem a maturidade (nos termos das condições determinadas, ao fim de 2 a 3 meses).

Condições de reprodução e manutenção

Câmara climatizada: temperatura 20 ± 2 °C, de preferência dispondo de luz contínua (de intensidade 400 a 800 lux).

Caixas de reprodução: recipientes adequados de pequena profundidade, com um volume de 10 a 20 l.

Substrato: *Eisenia foetida* pode ser criada em vários excrementos animais. Recomenda-se como meio de reprodução a utilização de uma mistura de 50 % de turfa e 50 % de estrume de cavalo ou vaca. O meio deve ter um pH de aproximadamente 6 a 7 (ajustado com carbonato de cálcio) e baixa condutividade iónica (inferior a 6 mmhos ou 0,5 % de concentração de sais).

O substrato deve ser húmido, mas não demasiado molhado.

Além do método acima referido, podem ser utilizados com êxito outros processos.

Nota: Eisenia foetida existe sob a forma de duas subespécies que alguns taxionomistas separaram em espécies (Bouche, 1972). São morfologicamente semelhantes mas uma delas, a *Eisenia foetida foetida*, apresenta como característica listas ou bandas transversais sobre os segmentos e a outra, a *Eisenia foetida andrei*, não possui tal característica, apresentando uma coloração avermelhada matizada. Sempre que possível, deve-se utilizar a *Eisenia foetida andrei*. Podem ser utilizadas outras espécies desde que se disponha da necessária metodologia.

C.9. BIODEGRADAÇÃO

ENSAIO DE ZAHN E WELLENS

1. MÉTODO

1.1. INTRODUÇÃO

O objectivo do presente método é a avaliação da biodegradação final potencial de substâncias orgânicas, não voláteis, solúveis em água quando são expostas a concentrações relativamente elevadas de microorganismos num ensaio estático.

Pode-se verificar adsorção físico-química sobre os sólidos em suspensão, o que deve ser tomado em consideração na interpretação dos resultados (ver 3.2),

As substâncias a estudar são utilizadas em concentrações que correspondem a valores de COD que vão de 50 a 400 mg/litro ou a valores de CQO situados entre 100 e 1 000 mg/l (COD = carbono orgânico dissolvido; CQO = carência química de oxigénio). Estas concentrações relativamente elevadas asseguram uma boa confiança analítica. Os compostos dotados de propriedades tóxicas podem atrasar ou inibir o processo de degradação.

No presente método, utiliza-se a medição da concentração do carbono orgânico dissolvido ou a carência química de oxigénio para avaliar a biodegradação final da substância de ensaio.

A utilização simultânea de um método analítico específico pode permitir a avaliação da biodegradação primária da substância (desaparecimento da estrutura química inicial).

O método apenas se aplica às substâncias orgânicas que, na concentração utilizada no ensaio:

- são solúveis em água nas condições do ensaio,
- têm uma pressão de vapor negligenciável nas condições do ensaio,
- não exercem efeitos inibidores sobre as bactérias,
- não sofrem uma adsorção importante pelo equipamento de ensaio,
- não desaparecem da solução de ensaio devido a formação de espuma.

Na interpretação dos resultados obtidos, especialmente nos casos em que estes resultados são baixos ou marginais, é útil conhecer as proporções relativas dos principais elementos constituintes da substância de ensaio.

Na interpretação de resultados pouco elevados e na selecção das concentrações de ensaio adequadas, é desejável dispor de informações relativas à toxicidade da substância em relação aos microorganismos.

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

A taxa de degradação alcançada no final do ensaio constitui a «Biodegradação no ensaio de Zahn e Wellens»:

$$D_T(\%) = \left[1 - \frac{(C_T - C_B)}{(C_A - C_{BA})} \right] \times 100$$

em que:

D_T = biodegradação (%) no instante T.

C_A = Valores do COD (ou da CQO) da mistura de ensaio medidos três horas após o início do ensaio (mg/l) (COD = carbono orgânico dissolvido, CQO = carência química do oxigénio),

C_T = valores do COD ou da CQO na mistura do ensaio no momento da colheita da amostra (mg/l),

C_B = valor do COD ou da CQO do ensaio em branco no momento da colheita da amostra,

C_{BA} = valor do COD ou da CQO do ensaio em branco, medido três horas após o início do ensaio (mg/l).

A taxa de degradação obtida é arredondada até ao valor inteiro da percentagem mais próxima.

A percentagem de degradação é definida como sendo a percentagem de remoção de COD (ou da CQO) da substância de ensaio.

A diferença entre o valor medido após 3 horas e o valor inicial calculado ou de preferência, medido, pode fornecer informações úteis relativas à eliminação da substância (ver 3.2, Interpretação dos resultados).

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

No estudo de novas substâncias, podem por vezes ser úteis substâncias de referência; contudo, ainda não podem ser recomendadas substâncias de referência específicas.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Colocam-se num recipiente de vidro de 1 a 4 litros de capacidade, munida de um agitador e de um arejador, uma solução aquosa de lamas activadas, substâncias nutritivas minerais e a substância de ensaio que constituem a única fonte de carbono. A mistura é agitada e arejada a uma temperatura de 20 a 25°C, sob uma iluminação difusa ou numa câmara escura durante um período que pode ir até vinte e oito dias. Acompanha-se o processo de degradação determinando o valor do COD (ou da CQO) na solução filtrada, diariamente ou segundo uma outra periodicidade adequada. Após cada período, o COD (ou a CQO) eliminado é referido ao valor verificado três horas após o início do ensaio e expresso em percentagem de biodegradação; isto constitui a medida da taxa de degradação nesse momento. O resultado é representado graficamente em função do tempo, o que permite obter a curva de biodegradação.

Se se utiliza um método analítico específico, podem-se medir as variações da concentração da molécula original atribuíveis à biodegradação (biodegradação primária).

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

A reprodutibilidade do presente método foi provada num ensaio de intercalibração.

A sensibilidade do método é largamente determinada pela variabilidade do ensaio em branco e, em menor extensão, pela precisão da determinação do carbono orgânico dissolvido e da concentração da substância de ensaio no meio.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.6.1. *Preparações*

1.6.1.1. Reagentes

Água utilizada no ensaio: água de beber contendo menos de 5 mg/l de carbono orgânico. A concentração total de iões, cálcio e magnésio não deve ultrapassar 2,7 mmol/l; se não for o caso, corrigir a diluição com a necessária quantidade de água desionizada ou destilada.

Acido sulfúrico de pureza analítica (P.A.): 50 g/l.

Solução de hidróxido de sódio P.A.: 40 g/l.

Solução nutritiva mineral: dissolver num litro de água desionizada:

cloreto de amónio, NH_4Cl , P.A.: 38,50 g,

dihidrogenofosfato de sódio, $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, P.A.: 33,40 g,

dihidrogenofosfato de potássio KH_2PO_4 , P.A.: 8,50 g,

monohidrogenofosfato de dipotássio K_2HPO_4 , P.A.: 21,75 g.

A mistura serve simultaneamente de meio nutritivo e solução tampão.

1.6.1.2. Equipamento

Recipientes de vidro com uma capacidade de 1 a 4 litros (por exemplo, recipientes cilíndricos).

Dispositivos de agitação com um agitador em vidro ou em metal fixado a uma haste adequada (o agitador deve descrever um movimento rotativo a cerca de 5 a 10 cm do fundo do recipiente). Pode-se utilizar igualmente um agitador magnético com 7 a 10 cm de comprimento.

Tubo de arejamento em vidro com 2 a 4 mm do diâmetro interno. A abertura do tubo deve situar-se cerca de 1 cm acima do fundo do recipiente.

Centrífuga (cerca de 3 550 g).

Potenciómetro.

Aparelho para a medição do oxigénio dissolvido.

Papéis de filtro.

Aparelho de filtração por membrana.

Membranas filtrantes de porosidade 0,45 µm. As membranas filtrantes são adequadas se não libertarem carbono e não absorverem a substância na fase da filtração.

Material de análise para a dosagem do carbono orgânico e a determinação da carência química de oxigénio.

1.6.1.3. Preparação do inóculo

Lavar as lamas activadas provenientes de uma estação de tratamento biológica por sucessivas centrifugações ou decantações com água do ensaio (ver acima).

As lamas activadas devem possuir as características adequadas. Esta lama pode ser obtida numa estação de tratamento de águas residuais em boas condições de funcionamento. Para dispor do maior número possível de diferentes espécies ou de estirpes de bactérias, pode ser preferível misturar os inóculos provenientes de diferentes fontes (por exemplo, de diferentes estações de tratamento, extractos de solo, água de rios, etc.). A mistura deve ser tratada tal como é acima indicado.

Para o controlo da actividade das lamas activadas, ver abaixo «Controlo funcional».

1.6.1.4. Preparação das soluções de ensaio

Num recipiente de ensaio, adicionar 500 ml de água de ensaio, 2,5 ml/l de solução mineral nutritiva e uma quantidade de lamas activadas correspondente a 0,2 a 1,0 g/l de matéria seca na mistura final. Adicionar uma quantidade suficiente de solução de reserva da substância de ensaio de modo a obter, na mistura final, uma concentração de COD de 50 a 400 mg/l. Os valores correspondentes de CQO são 100 a 1 000 mg/l. Adicionar água até um volume total de 1 a 4 litros. O volume total escolhido depende do número de amostras a colher para a determinação do COD ou da CQO e do volume necessário para a análise.

Normalmente consideram-se dois litros como o volume satisfatório. Para cada série de ensaios, preparar pelo menos um recipiente controlo (branco) contendo apenas as lamas activadas e a solução mineral nutritiva, diluídas com água de ensaio, até se dispor de um volume total idêntico ao dos recipientes de ensaio.

1.6.2. Execução do ensaio

Agitam-se os recipientes de ensaio com agitadores magnéticos ou agitadores a hélice, sob iluminação difusa ou numa câmara escura, a uma temperatura de 20 a 25°C. O arejamento processa-se por injeção de ar comprimido purificado por um filtro de algodão em rama e, se necessário, por um frasco de lavagem. Deve-se garantir que a lama não se deposite e que a concentração de oxigénio não desça abaixo de 2 mg/l,

O valor de pH deve ser verificado a intervalos regulares (por exemplo, diariamente) e ajustado a pH 7 a 8, se necessário.

As perdas devidas a evaporação são compensadas, imediatamente antes de cada colheita de amostras, com água desionizada ou destilada nas quantidades adequadas. Um bom método consiste em marcar o nível do líquido no recipiente antes de dar início ao ensaio. Após cada colheita, marcam-se de novo os recipientes (sem arejamento nem agitação). As primeiras amostras são sempre colhidas três horas após o início do ensaio, de modo a permitir detectar uma adsorção da substância de ensaio pelas lamas activadas.

À degradação da substância de ensaio segue-se a dosagem do COD ou da CQO, diariamente, ou a outro intervalo regular. Filtrar as amostras provenientes do recipiente de ensaio e do recipiente de controlo (branco) através de um papel de filtro cuidadosamente lavado. Rejeitar os primeiros 5 ml do filtrado da solução de

ensaio. As lamas dificilmente filtráveis podem ser previamente eliminadas por uma centrifugação de 10 minutos. As determinações do COD e da CQO efectuam-se pelo menos em duplicado. A duração dos ensaios prolonga-se até 28 dias.

Observação: As amostras que permanecem turvas são filtradas através de filtros de membrana. Estes não devem libertar nem adsorver matérias orgânicas.

Controlo funcional de lamas activadas

Por cada série de ensaios é necessário prever um recipiente que contenha uma substância conhecida de forma a poder verificar a capacidade funcional de lamas activadas. O dietilnoglícol revelou-se útil para este efeito.

Adaptação

Se as análises são efectuadas a intervalos relativamente curtos (por exemplo, diariamente), a curva de degradação pode fazer salientar claramente um fenómeno de adaptação (ver figura 2). O ensaio não deverá, portanto, ser iniciado imediatamente antes de um fim-de-semana.

Se a adaptação tem lugar nos últimos dias do ensaio, este deve ser prolongado até à degradação completa.

Observação: Se for necessário um melhor conhecimento do comportamento da lama, as mesmas lamas activadas são expostas de novo à mesma substância de ensaio de acordo com o seguinte processo:

Parar o agitador e o arejador e deixar precipitar as lamas activadas. Retirar o sobrenadante, encher com água de ensaio até perfazer dois litros, agitar durante 15 minutos e deixar de novo precipitar. Retirar de novo o sobrenadante e utilizar as restantes lamas para repetir o ensaio com a mesma substância, em conformidade com os pontos 1.6.1.4 e 1.6.2 anteriores. As lamas activadas podem igualmente ser separadas por centrifugação em vez de precipitação.

As lamas adaptadas podem ser misturadas com as lamas frescas para atingir 0,2 a 1 g de matéria seca/litro.

Análises

De um modo geral as amostras são filtradas através de um papel de filtro cuidadosamente lavado com água desionizada.

As amostras que permanecem turvas são filtradas através de filtros de membrana (0,45 µm).

Determinar a concentração de COD em duplicado nos filtrados das amostras (rejeitar os primeiros 5 ml) com o auxílio de um aparelho de medição do TOC. Se a análise do filtrado não puder ser efectuada no próprio dia, conservá-la no frigorífico até ao dia seguinte. Não é aconselhável conservá-la mais tempo.

Determinar a concentração da CQO nos filtrados das amostras com o auxílio do dispositivo de análise da CQO, em conformidade com o procedimento descrito no ponto 2 seguinte.

2. RESULTADOS E AVALIAÇÃO

Proceder a, pelo menos, duas determinações da concentração do COD e da CQO nas amostras, em conformidade com as indicações acima fornecidas em 1.6.2. Calcular a percentagem de degradação no instante T de acordo com a fórmula (com as suas definições) dada no ponto 1.2 anteriormente indicado.

Arredondar a taxa de degradação até à unidade de percentagem mais próxima. A taxa de degradação atingida no final do ensaio constitui a «Biodegradação no ensaio de Zahn-Wellens».

Observação: Se se realiza a degradação completa antes do final da duração do ensaio e se este resultado for confirmado por uma segunda análise efectuada no dia seguinte, pode-se dar o ensaio por concluído.

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio, deve incluir, se possível, as seguintes informações:

- a concentração inicial da substância,
- quaisquer outras indicações e os resultados experimentais relativos à substância ensaiada, à substância de referência eventualmente usada e ao ensaio de controlo (branco),
- a concentração após três horas,
- a curva de biodegradação com a respectiva descrição,
- a data e o local de colheita dos organismos de ensaio, fase de adaptação, concentração utilizada, etc.,
- as razões científicas de eventuais alterações ao método de ensaio.

3.2. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A eliminação do COD (ou da CQO) que se produz gradualmente durante um determinado número de dias ou de semanas indica que a substância ensaiada se degrada biologicamente.

Contudo, uma adsorção físico-química pode desempenhar um papel em determinados casos, o que é indicado quando se verifica uma remoção total ou parcial da substância desde o início, durante as primeiras três horas, e a diferença entre os licores sobrenadantes de ensaio e de controlo permanecem a um nível inesperadamente baixo.

São necessários ensaios suplementares se se pretender estabelecer a distinção entre biodegradação (ou biodegradação parcial) e adsorção.

Existem diversos métodos para estabelecer tal distinção, sendo o melhor a utilização do sobrenadante como inóculo num ensaio preliminar (de preferência um ensaio respirométrico).

As substâncias de ensaio que conduzem a uma elevada remoção neste ensaio, não associada à adsorção do COD (ou do CQO), devem ser consideradas como potencialmente biodegradáveis. Uma eliminação parcial, não associada à adsorção, indica que o produto químico é, pelo menos, biodegradável em determinada extensão. Uma eliminação baixa ou nula de COD (ou de CQO) pode ser atribuída à inibição dos microorganismos pela substância ensaiada, o que pode ser também revelado pela lise e perda de lamas, dando origem a sobrenadantes turvos. O ensaio deve ser repetido utilizando uma menor concentração da substância de ensaio.

A utilização de um método analítico específico em relação a um composto ou de uma substância de ensaio marcada com ^{14}C pode permitir uma maior sensibilidade. No caso dos compostos marcados com ^{14}C , a recuperação do $^{14}\text{CO}_2$ confirmará que se verificou biodegradação.

Quando os resultados se exprimem em termos de biodegradação primária, deve ser dada, se possível, uma explicação relativa à modificação de estrutura química que conduz a uma diminuição da resposta da substância original.

A validade do método analítico deve ser acompanhada da indicação da resposta encontrada no ensaio de controlo (branco).

4. REFERÊNCIAS

- (1) OCDE, Paris, 1981, *Test Guideline 302 B*, Decisão C(81) 30 final do Conselho.
- (2) Annex V C.9 Degradation: Chemical Oxygen Demand, Directiva 84/449/CEE da Comissão (JO L 251 de 19.9.1984, p. 1).

Apêndice

EXEMPLO DE UMA AVALIAÇÃO

Composto orgânico:	ácido 4-etoxibenzóico
Concentração teórica no ensaio:	600 mg/l
COD teórico:	390 mg/l
Inóculo:	estação de tratamento de águas residuais de
Concentração:	1 grama matéria seca/litro
Estado de adaptação:	não adaptado
Análise:	determinação do COD
Volume da amostra:	3 ml
Substância de controlo:	dietilenoglicol
Toxicidade do composto:	sem efeitos tóxicos para valores inferiores a 1 000 mg/l
	Ensaio realizado: ensaio em tubos de fermentação

Instante do ensaio	Substância de controlo				Substância de ensaio		
	Branco COD ⁽¹⁾ mg/l	COD ⁽¹⁾ mg/l	COD líquido mg/l	Degradação %	COD ⁽¹⁾ mg/l	COD líquido mg/l	Degradação %
0	—	—	300,0	—	—	390,0	—
3 horas	4,0	298,0	294,0	2	371,6	367,6	6
1 dia	6,1	288,3	282,2	6	373,3	367,2	6
2 dias	5,0	281,2	276,2	8	360,0	355,0	9
5 dias	6,3	270,5	264,2	12	193,8	187,5	52
6 dias	7,4	253,3	245,9	18	143,9	136,5	65
7 dias	11,3	212,5	201,2	33	104,5	93,2	76
8 dias	7,8	142,5	134,7	55	58,9	51,1	87
9 dias	7,0	35,0	28,0	91	18,1	11,1	97
10 dias	18,0	37,0	19,0	94	20,0	2,0	99

⁽¹⁾ Valores médios de três determinações.

Figura 1

Exemplos de curvas de biodegradação

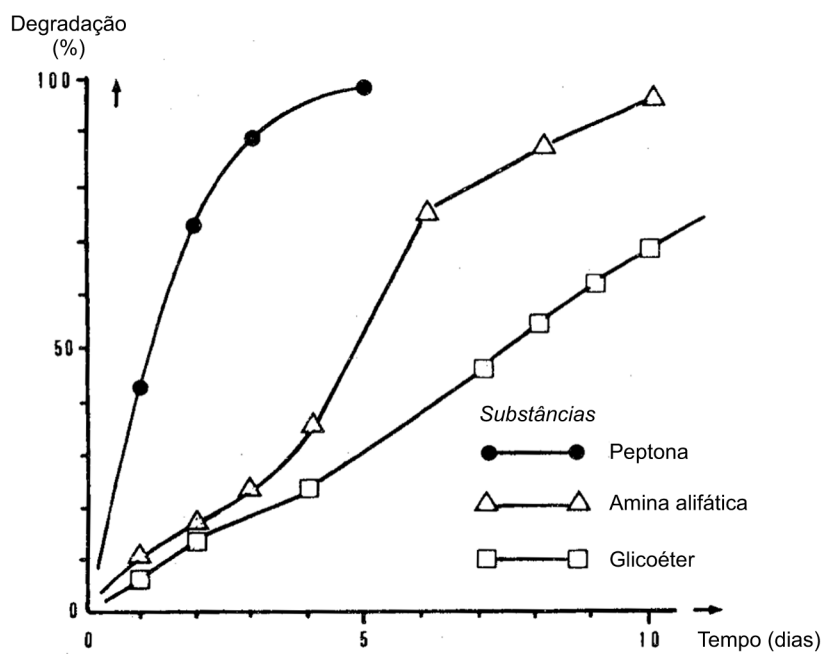
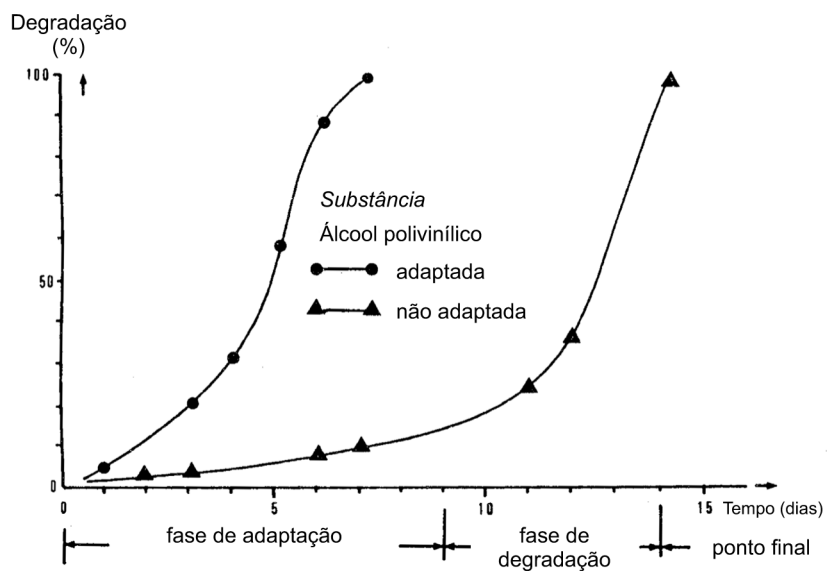


Figura 2

Exemplos de adaptação das lamas



C.10. BIODEGRADAÇÃO

ENSAIOS DE SIMULAÇÃO DE LAMAS ACTIVADAS

1. MÉTODO

1.1. INTRODUÇÃO

1.1.1. *Observações gerais*

Este método aplica-se apenas às substâncias orgânicas que nas concentrações utilizadas no teste:

- são suficientemente solúveis em água para permitir a preparação das soluções de ensaio,
- têm uma pressão de vapor negligenciável nas condições do ensaio,
- não provocam um efeito inibidor sobre as bactérias.

Na interpretação dos resultados obtidos, especialmente nos casos em que os resultados são pouco elevados ou marginais, serão úteis as informações respeitantes às proporções relativas dos principais componentes da substância de ensaio.

Para a interpretação dos resultados pouco elevados e na selecção das adequadas concentrações de ensaio, são desejáveis informações relativas à toxicidade da substância para os microorganismos.

1.1.2. *Determinação da biodegradação final (análises COD/CQO)*

O objectivo do presente método é determinar a biodegradação final medindo a remoção da substância e quaisquer metabolitos num modelo de uma estação de lamas activadas a uma concentração correspondente a mais de 12 mg COD/l (ou aproximadamente 40 mg de CQO/l). Parece ser 20 mg COD/l o valor óptimo. (COD = carbono orgânico dissolvido; CQO = carência química de oxigénio).

Deve ser determinado o teor em carbono orgânico (ou a carência química de oxigénio) de uma substância a ensaiar.

1.1.3. *Determinação da biodegradação primária (análise específica)*

O objectivo do método é determinar a biodegradação primária de uma substância num modelo de uma estação de lamas activadas, a uma concentração de cerca de 20 mg/l, utilizando um método analítico específico (podem utilizar-se concentrações maiores ou menores se o método analítico e as características de toxicidade o permitirem), o que torna possível a avaliação da biodegradação primária de uma substância (desaparecimento da estrutura química inicial).

O objectivo do presente método não é a determinação da mineralização da substância de ensaio.

Deve ser possível dispor de um método analítico adequado para a determinação da substância de ensaio.

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

1.2.1. *Análise COD/CQO*

A taxa de remoção de uma substância é dada pela fórmula:

$$TR = \frac{T - (E - E_0)}{T} \times 100 \% \quad [1(a)]$$

em que:

TR = taxa de remoção em percentagem de COD (ou de CQO) ao longo de um dado tempo de retenção médio da substância de ensaio,

T = concentração da substância de ensaio no afluente, em mg de COD/l (ou mg de CQO/l),

E = concentração de COD (ou CQO) no efluente da unidade de ensaio, em mg de COD/l (ou em mg de CQO/l),

E₀ = concentração de COD (ou CQO) no efluente da unidade em branco, em mg COD/l (ou CQO/l).

A degradação é expressa em termos de percentagem de remoção de COD (ou de CQO) no decurso de um dado tempo de retenção da substância de ensaio.

1.2.2. *Análise específica*

A percentagem de eliminação da substância de ensaio da fase aquosa (R_w) durante um dado tempo de retenção médio é dada pela fórmula:

$$R_w = \frac{C_i - C_o}{C_i} \times 100 \% \quad [1(b)]$$

em que:

C_i = concentração da substância no afluente da unidade de ensaio (mg de substância/l, determinada por análise específica),

C_o = concentração da substância no efluente da unidade de ensaio (mg de substância/l, determinada por análise específica).

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Quando se estuda uma nova substância, podem, por vezes, revelar-se úteis substâncias de referência; contudo, ainda não podem ser recomendadas substâncias de referência especiais.

1.4. PRINCÍPIOS DOS MÉTODOS DE ENSAIO

Para a determinação da biodegradação final utilizam-se em paralelo duas unidades-piloto de lamas activadas (ensaio de confirmação OCDE ou unidades de vasos porosos). A substância de ensaio é adicionada ao afluente (águas residuais sintéticas ou domésticas) de uma das unidades, enquanto a outra recebe apenas as águas residuais. Para a determinação da biodegradação primária, com uma análise específica do afluente e do efluente, apenas se utiliza uma unidade.

As concentrações de COD (ou de CQO) são medidas nos efluentes, ou recorre-se a análises específicas para determinação das concentrações da substância.

O COD atribuível à substância de ensaio não é determinado, mas simplesmente referido.

Quando se efectuam medições do COD (ou de CQO), considera-se que a diferença entre as concentrações médias do efluente do ensaio e do efluente do controlo é devida à substância de ensaio não degradada.

Quando se efectuam análises específicas, podem ser medidas variações de concentração da molécula-mãe (biodegradação primária).

As unidades podem funcionar segundo o «método das unidades interligadas», através de um processo de transinoculação.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

A concentração inicial da substância depende do tipo de análise efectuada e respectivas limitações.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.6.1. *Preparação*

1.6.1.1. Equipamento

É necessário um par de unidades do mesmo tipo, excepto quando são efectuadas análises específicas. Podem ser utilizados dois tipos de equipamento:

Ensaio de confirmação da OCDE

O equipamento (apêndice 1) consiste num recipiente de armazenagem (A) para as águas residuais sintéticas, uma bomba de doseamento (B), um recipiente de arejamento (C), um decantador (D), uma bomba de ar comprimido (E) para reciclar as lamas activadas e um recipiente (F) para a recolha do efluente tratado.

Os recipientes (A) e (F) devem ser de vidro ou de uma matéria plástica adequada e com uma capacidade de pelo menos 24 litros. A bomba (B) deve fornecer ao recipiente de arejamento um fluxo constante de águas residuais sintéticas; pode ser utilizado qualquer sistema adequado, desde que se assegure o fluxo de entrada e a concentração. Durante o funcionamento normal, a altura do decantador (D) é fixada de modo a que o volume contido no recipiente de arejamento seja de 3 litros de licor misto. É suspenso no recipiente (C), por cima do cone, um arejador poroso (G). A quantidade de ar insuflada através do arejador deve ser registada por meio de um medidor de fluxo.

A bomba de ar comprimido (E) é fixada de modo a que as lamas activadas provenientes do decantador sejam continua e regularmente recicladas para o recipiente de arejamento (C).

«Vaso poroso»

O vaso poroso é constituído por folhas de polietileno poroso (2 mm de espessura, diâmetro máximo dos poros 95 µm), enroladas de forma a constituir um cilindro de 14 cm de diâmetro, com uma base cónica de 45° (figuras 1 e 2 do apêndice 2). O vaso poroso é colocado dentro de um recipiente estanque em matéria plástica adequada com 15 cm de diâmetro e com um orifício na parte cilíndrica a 17,2 cm da base do cilindro que determina a capacidade (3 l) do vaso. À volta do topo do vaso interior existe um anel de suporte rígido, em matéria plástica adequada de modo a que exista um espaço para o efluente de 0,5 cm entre os recipientes interior e exterior.

Os vasos porosos podem ser colocados na base de um banho de água controlado termostaticamente. Na base do vaso interior são colocados difusores adequados de modo a haver um fornecimento de ar na base.

Os recipientes (A) e (E) devem ser de vidro ou de matéria plástica adequada com uma capacidade de, pelo menos, 24 litros. A bomba (B) deve fornecer ao recipiente de arejamento um fluxo constante de águas residuais sintéticas; pode ser utilizado qualquer sistema adequado, desde que sejam assegurados o fluxo de entrada e a concentração.

São necessários vasos porosos interiores de reserva para substituir qualquer um que eventualmente seja obstruído durante a utilização; os vasos obstruídos podem ser limpos por imersão durante 24 horas numa solução de hipoclorito, seguida de uma lavagem cuidadosa com água da torneira.

1.6.1.2. Filtração

Aparelho de filtração de membrana e filtros de membrana, com uma porosidade de 0,45 µm. Os filtros de membrana são adequados se se garantir que não libertam carbono nem adsorvem a substância de ensaio na fase de filtração.

1.6.1.3. Águas residuais

Pode ser utilizado quer um efluente sintético adequado quer águas residuais domésticas.

Exemplo de um efluente sintético

Dissolver por cada litro de água da torneira:

Peptona:	160 mg,
Extracto de carne:	110 mg,
Ureia:	30 mg,

NaCl:	7 mg,
CaCl ₂ .2H ₂ O:	4 mg,
MgSO ₄ .7H ₂ O:	2 mg,
K ₂ HPO ₄ :	28 mg.

Águas residuais domésticas

Devem ser diariamente colhidas do sobrenadante do tanque de decantação primária de uma estação de tratamento que trate predominantemente águas residuais domésticas.

1.6.1.4. Solução de reserva da substância de ensaio

Deve ser preparada uma solução da substância de ensaio, por exemplo a 1 % , para se adicionar a concentração da substância de modo a que se conheça o volume adequado a adicionar à água residual ou directamente à unidade, através de uma segunda bomba que forneça a concentração de ensaio necessária.

1.6.1.5. Inóculo

Observação: Quando se utilizam águas residuais domésticas, não se justifica a utilização de um inóculo com uma baixa concentração de bactérias, mas podem-se utilizar lamas activadas.

Pode-se utilizar uma grande variedade de inóculos.

Apresentam-se três exemplos de inóculos adequados:

a) Inóculo do efluente secundário

O inóculo deve ser recolhido de um efluente secundário de boa qualidade, proveniente de uma estação de tratamento que trate predominantemente águas residuais domésticas. O efluente deve ser mantido em condições aeróbias no período entre a colheita das amostras e a sua utilização. Para preparar o inóculo filtra-se a amostra através de um filtro grosseiro e rejeitam-se os primeiros 200 ml. Mantém-se o filtrado em condições aeróbias até ser utilizado. Deve-se utilizar o inóculo no próprio dia da sua colheita e na inoculação devem-se utilizar pelo menos 3 ml.

b) Inóculo composto

Inóculo de efluente secundário:

Ver a descrição anterior.

Inóculo do solo:

Faz-se a suspensão de 100 g de terra de jardim (fértil, não esterilizada) em 1 000 ml de água de beber isenta de cloro. (Não são adequados solos com uma fracção extremamente elevada de argila, areia ou húmus). Após agitar a suspensão, deixa-se sedimentar durante 30 minutos. Filtra-se o sobrenadante através de um papel de filtro grosseiro, rejeitando-se os primeiros 200 ml. Areja-se imediatamente o filtrado e mantém-se arejado até ao momento da sua utilização. Deve-se utilizar o inóculo no próprio dia da sua colheita.

Inóculo de uma água superficial:

Obtém-se um outro inóculo parcial a partir de uma água superficial mesossapróbica. Filtra-se a amostra através de um papel de filtro grosseiro, rejeitando os primeiros 200 ml. Mantém-se o filtrado em condições aeróbias até ao momento da sua utilização. Deve-se utilizar o inóculo no próprio dia da sua colheita.

Juntam-se volumes iguais das três amostras de inóculos parciais, misturam-se cuidadosamente e retira-se o inóculo final desta mistura. Deve-se utilizar na inoculação pelo menos 3 ml.

c) Inóculo de lamas activadas

Pode ser utilizado como inóculo um determinado volume (não superior a 3 litros) de lamas activadas (teor em sólidos suspensos até a 2,5 g/l) colhidos de um tanque de arejamento de uma estação que trate predominantemente águas residuais domésticas.

1.6.2. *Método*

O ensaio é efectuado à temperatura ambiente, que deve ser mantida entre 18 °C e 25 °C.

Se tal for conveniente, o ensaio pode ser efectuado a uma temperatura inferior (até 10 °C); se a substância se degradar, não será normalmente exigida qualquer outra operação. Se, contudo, a substância não for degradada, o ensaio deve ser prosseguido a uma temperatura constante entre 18 °C e 25 °C.

1.6.2.1. Período inicial: formação das lamas/estabilização das unidades

O período de crescimento/estabilização das lamas é o período durante o qual a concentração de sólidos suspensos nas lamas activadas e a eficiência das unidades evolui até uma fase estacionária nas condições de funcionamento utilizadas.

O período inicial é o período que se estende desde o momento em que a substância de ensaio é adicionada pela primeira vez até ao instante em que a sua remoção atinge uma fase estacionária (valor relativamente constante). Este período não deve ultrapassar seis semanas.

O período de avaliação é de três semanas, a contar do momento em que a remoção da substância de ensaio atinge um valor relativamente constante e, em geral, elevado. Para as substâncias que apresentam uma degradação baixa ou nula durante as primeiras seis semanas, o período de avaliação considera-se como sendo as três semanas seguintes.

Começar por encher a(s) unidade(s) necessária(s) a um ensaio com o inóculo misturado com o afluente.

Accionam-se então o arejador [e a bomba de ar comprimido (E) no caso do ensaio de confirmação da OCDE] e a bomba de doseamento (B).

O afluente, sem a substância a ensaiar, deve passar através do recipiente de arejamento (C) quer à velocidade de um litro por hora quer à velocidade de meio litro por hora, o que dá um tempo de retenção médio de três ou seis horas.

A taxa de arejamento deve ser regulada de modo a que o conteúdo do recipiente (C) se mantenha constantemente em suspensão enquanto o teor em oxigénio dissolvido seja pelo menos de 2 mg/l.

Deve-se evitar a formação de espuma mediante meios adequados. Não devem ser utilizados agentes para evitar a formação de espumas que inibam as lamas activadas.

As lamas que se depositarem em torno do topo do recipiente de arejamento (C) [e no ensaio de confirmação da OCDE, na base do recipiente de decantação (D) e no circuito de circulação] devem ser de novo misturadas com o licor misto pelo menos uma vez por dia mediante raspagem ou qualquer outro meio adequado.

Quando as lamas já não conseguirem depositar-se, a sua densidade pode ser aumentada adicionando fracções de 2 ml de uma solução de cloreto de ferro a 5 %, quantas vezes for necessário.

O efluente é recolhido no recipiente (E ou F) durante vinte e quatro horas e colhe-se uma amostra depois de o misturar cuidadosamente. Deve-se proceder a uma cuidadosa limpeza do recipiente (E ou F).

Para vigiar e controlar a eficiência do processo mede-se a carência química de oxigénio (CQO) ou o carbono orgânico dissolvido (COD) do filtrado do efluente acumulado pelo menos duas vezes por semana e igualmente do afluente filtrado [utilizando uma membrana de porosidade igual a 0,45 µm, são rejeitados (aproximadamente) os primeiros 20 ml do filtrado].

A redução de CQO e COD deve estabilizar-se quando se atingir uma degradação diária regular.

O teor das lamas activadas em matéria seca no recipiente de arejamento deve ser determinado duas vezes por semana (em g/l). Pode-se fazer funcionar as unidades de uma das duas seguintes maneiras: determinar duas vezes por semana quer o teor em matéria seca das lamas activadas e no caso de ser superior a 2,5 g/l retirar as lamas activadas em excesso quer retirar diariamente 500 ml de licor misto de cada recipiente de modo a obter um tempo de retenção médio das lamas de seis dias.

Quando os parâmetros estimados e medidos [eficiência do processo (em termos de remoção de CQO e COD), concentração das lamas, decantabilidade das lamas, turvação dos efluentes, etc.] das duas unidades são suficientemente estáveis, a substância de ensaio pode ser adicionada ao afluente de uma das unidades, seguindo o ponto 1.6.2.2.

A substância de ensaio pode ser adicionada, alternativamente, no início do período de crescimento das lamas (1.6.2.1), em especial quando as lamas são introduzidas como inóculo.

1.6.2.2. Método de ensaio

Mantêm-se as condições de funcionamento do período inicial e adiciona-se ao afluente da unidade de ensaio uma quantidade suficiente de solução-mãe (aproximadamente 1 %) da substância de ensaio de modo a que se obtenha a concentração desejável da substância de ensaio (aproximadamente 10 a 20 mg COD/l ou 40 mg CQO/l) nas águas residuais, o que pode ser feito misturando diariamente a solução-mãe nas águas residuais ou mediante um sistema de bombagem separado. Esta concentração pode ser atingida progressivamente. Se não se verificarem efeitos tóxicos da substância de ensaio sobre as lamas activadas podem experimentar-se concentrações mais elevadas.

A unidade em branco é alimentada apenas com afluente isento de substâncias adicionadas. Colhem-se volumes adequados de efluentes para análise e filtram-se através de filtros de membrana (0,45 µm), rejeitando os primeiros 20 ml (aproximadamente) de filtrado.

As amostras filtradas devem ser analisadas no próprio dia ou então devem ser conservadas mediante qualquer método adequado, por exemplo, utilizando 0,05 ml de uma solução de cloreto mercúrico (HgCl₂) a 1 % por cada 10 ml de filtrado ou armazenando o filtrado entre 2 a 4°C até um máximo de 24 horas ou abaixo de - 18°C para períodos de tempo mais longos.

O período ao longo do qual se estende a experiência, que inclui a adição da substância de ensaio, não deve ultrapassar seis semanas e o período de avaliação não deve ser inferior a três semanas, ou seja, deve-se poder dispor de cerca de 14 a 20 determinações para o cálculo do resultado final.

Interligação das unidades

A interligação das unidades obtém-se trocando entre si, uma vez por dia, 1,5 l de licor misto (incluindo lamas) proveniente dos recipientes de arejamento das lamas activadas de duas unidades. No caso das substâncias de ensaio serem fortemente adsorventes, retiram-se apenas 1,5 l do líquido sobrenadante dos recipientes de decantação e deitam-se para o recipiente com lamas activadas da outra unidade.

1.6.2.3. Análise

Para acompanhar o comportamento da substância, podem ser efectuados dois tipos de análise:

COD ou CQO

As concentrações de COD são determinadas em duplicado com o analisador de carbono e/ou os valores da CQO são determinados em conformidade com a referência (2).

Análise específica

As concentrações da substância de ensaio são determinadas mediante um método analítico adequado. Sempre que possível, deve efectuar-se uma determinação específica da substância adsorvida nas lamas.

2. RESULTADOS E AVALIAÇÃO

2.1. INTERLIGAÇÃO DAS UNIDADES

Quando se utiliza a interligação das unidades calculam-se as taxas de remoção TR diárias em % de acordo com 1.2.1.

Estas taxas de remoção TR diárias são corrigidas em termos de TRc para o material transferido devido ao processo de transinoculação através da equação [2] para um tempo de retenção médio de três horas ou da equação [3] para um tempo de retenção médio de 6 horas.

$$DRc = \frac{4}{3}DR - \frac{100}{3} \quad [2]$$

$$DRc = \frac{8}{7}DR - \frac{100}{7} \quad [3]$$

Calcula-se a média das séries dos valores TRc e ainda o desvio-padrão de acordo com a equação 4:

$$S_{DRc} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (DRc - DRc_i)^2}{n-1}} \quad [4]$$

em que:

S_{TRc} = desvio-padrão das séries de valores TRc

$\overline{TRc}$ = média do valor TRc

n = número de determinações

Rejeitam-se os valores discrepantes das séries TRc segundo um processo estatístico adequado, por exemplo, o de Nalimov [6] para um nível de probabilidade de 95 % e calcula-se de novo a média e o desvio-padrão do conjunto de dados, TRc sem os valores discrepantes.

Calcula-se então o resultado final recorrendo à equação [5]:

$$TRc = \overline{TRc} \pm \frac{t_{n-1; \alpha^S}}{\sqrt{n}} TRc \quad [5]$$

em que:

$t_{n-1; \alpha^S}$ = valor tabelado de t para n pares de valores de E e E_o e confiança estatística P (P = 1 — α) pelo que P é fixado a 95 % (1).

O resultado é expresso pela média com limites de tolerância ao nível de probabilidade de 95 %, o desvio-padrão e o número de dados da série das TRc menos os valores discrepantes, e o número de valores discrepantes, por exemplo:

TRc = 98,6 ± 2,3 % da remoção de COD,

s = 4,65 % da remoção de COD,

n = 18,

x = número de valores discrepantes.

2.2. UNIDADES NÃO INTERLIGADAS

O rendimento das unidades pode ser verificado do seguinte modo:

$$\% \text{ de remoção de CQO ou COD} = \frac{\text{CODorDOC}_{\text{sewage}} - \text{CODorDOC}_{\text{effluent}}}{\text{CODorDOC}_{\text{sewage}}} \times 100$$

Esta remoção diária pode ser representada graficamente para permitir identificar qualquer tipo de tendência, por exemplo, climatização.

2.2.1. Utilização da determinação da CQO/COD

A taxa diária de remoção em % TR calcula-se segundo 1.2.1.

Calcula-se a média da série de valores TR e ainda o seu desvio-padrão segundo a fórmula seguinte:

$$S_{TR} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\overline{TR} - TR_i)^2}{n-1}} \quad [6]$$

em que:

S_{TR} = desvio-padrão da série de valores TR_i

$\overline{TR}$ = média dos valores TR_i

n = número de determinações.

Eliminam-se os valores discrepantes da série TR de acordo com um método estatístico adequado, por exemplo, o de Nalimov [6], ao nível de probabilidade de 95 % e calcula-se de novo o desvio-padrão da série de dados TR, menos os valores discrepantes.

O resultado final é calculado por meio de equação [7]:

$$TR = \overline{TR} \pm \frac{t_{n-1; \alpha}}{\sqrt{n}} TR \quad [7]$$

em que:

$t_{n-1; \alpha}$ = valor tabelado de t para n pares de valores de E e E_o e confiança estatística P ($P = 1 - \alpha$) em que P é fixado a 95 % (1).

O resultado é expresso como a média com limites de tolerância ao nível de probabilidade de 95 %, o respectivo desvio-padrão e o número de dados da série dos TR menos os valores discrepantes, e o número de valores discrepantes, por exemplo:

TR = (98,6 ± 2,3 %) de remoção de COD,

5 = 4,65 % de remoção de COD,

n = 18,

x = número de valores discrepantes.

2.2.2. Utilização de análise específica

Calcula-se a percentagem de eliminação da substância a ensaiar da fase aquosa (R_w) de acordo com 1.2.2.

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deve incluir, se possível, as seguintes informações:

- o formulário incluído no apêndice 3, indicando as condições de funcionamento do ensaio,
- o equipamento escolhido (ensaio de confirmação da OCDE ou ensaio de vaso poroso),
- o modo de funcionamento escolhido: unidades interligadas ou não,
- as águas residuais: sintéticas ou domésticas,
- no caso das águas residuais domésticas: data e local de colheita da amostra,
- o inóculo com data e local de colheita da amostra,
- uma descrição do método de análise, se forem efectuadas análises específicas,

- a representação gráfica da remoção CQO ou COD em função do tempo durante o período inicial e o período de avaliação,
- recuperação analítica da substância de ensaio na forma de CQO ou COD na solução-mãe,
- se foram efectuadas análises específicas, a representação gráfica da percentagem de remoção da substância a ensaiar da fase aquosa em função do tempo (período inicial e período de avaliação),
- a remoção média de COD ou de CQO da substância a ensaiar e o desvio-padrão é calculado a partir dos resultados do período de avaliação, ou seja, quando há uma remoção regular da substância a ensaiar ou se verifica um período de funcionamento estacionário,
- a representação gráfica da concentração das lamas activadas em função do tempo,
- qualquer observação relativa às lamas activadas (rejeição de um excesso de lama, presença de um aglomerado, FeCl_3 , etc.),
- concentração da substância utilizada no ensaio,
- todos os resultados relativos à análise efectuada nas lamas,
- todas as informações e resultados experimentais relativos à substância ensaiada e, se for caso disso, à substância de referência,
- as razões científicas de quaisquer modificações da metodologia.

3.2. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Uma remoção baixa da substância ensaiada da fase aquosa pode ser devida a uma inibição dos microorganismos pela substância ensaiada, o que pode igualmente traduzir-se por uma lise e perda de lamas, dando origem a um sobrenadante turvo, e por uma diminuição da eficiência da instalação-piloto do ponto de vista da remoção do COD (ou CQO).

A adsorção físico-química pode, por vezes, ter influência. As diferenças entre a acção biológica na molécula e a adsorção físico-química podem ser reveladas por uma análise efectuada nas lamas após uma desorção adequada.

São necessários ensaios complementares, se se pretender estabelecer uma distinção entre biodegradação (ou biodegradação parcial) e adsorção, o que pode ser feito de diferentes maneiras, mas a mais conveniente consiste em utilizar o sobrenadante como inóculo num ensaio preliminar (de preferência ensaio respirométrico).

Se se observarem remoções acentuadas de COD ou CQO, estas são devidas a biodegradação enquanto que para as remoções baixas não é possível distinguir entre biodegradação e eliminação. Por exemplo, se um composto solúvel apresenta uma constante de adsorção elevada de 98 % e se a taxa diária de rejeição de lamas excedentárias é de 10 %, é possível uma eliminação que atinja 40 % no máximo; para uma taxa de rejeição de lamas excedentárias de 30 %, a eliminação devida à adsorção e à rejeição de lamas excedentárias pode atingir 65 % (4).

No caso de uma análise específica, é conveniente ter em atenção a relação entre a estrutura da substância e a análise específica efectuada. Nesse caso, o fenómeno observado não pode ser interpretado como uma mineralização da substância.

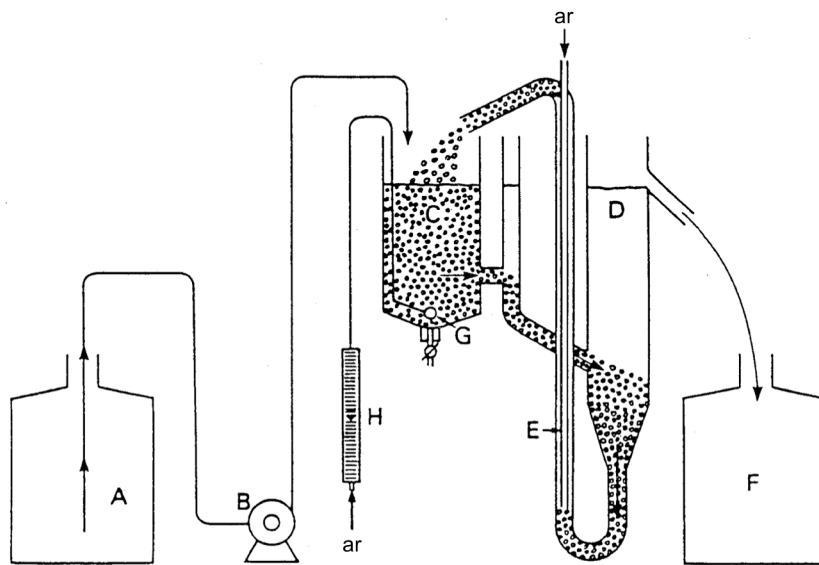
4. REFERÊNCIAS

- (1) OCDE, Paris, 1981, *Test Guideline 303 A*, Decisão C(81) 30 final do Conselho.
- (2) Annex V C9 Degradation: Chemical Oxygen Demand, Directiva 84/449/CEE da Comissão (JO L 251 de 19.9.1984, p. 1).

-
- (3) Painter H. A., King E. F., WRC *Porous-Pot method for assessing biodegradability*, Technical Report TR70, Junho 1978, Water Research Center, United Kingdom.
 - (4) Wierich, P., Gerike, P., The Fate of Soluble, Recalcitrant, and Adsorbing Compounds in Activated Sludge Plants, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 5, nº 2, Junho 1981, p. 161-171.
 - (5) Directivas 82/242/CEE e 82/243/CEE do Conselho (JO L 109 de 22.4.1982, p. 1), que altera as Directivas 73/404/CEE e 73/405/CEE do Conselho: Biodegradabilidade dos detergentes (JO L 347 de 17.12.1973, p. 51).
 - (6) Streuli, H., Fehlerhafte Interpretation und Anwendung von Ausreißertests, insbesondere bei Ringversuchen zur Überprüfung analytisch-chemischer Untersuchungsmethoden, *Fresenius-Zeitschrift für Analytische Chemie* 303(1980), p. 406-408.

Apêndice 1

Figura 1

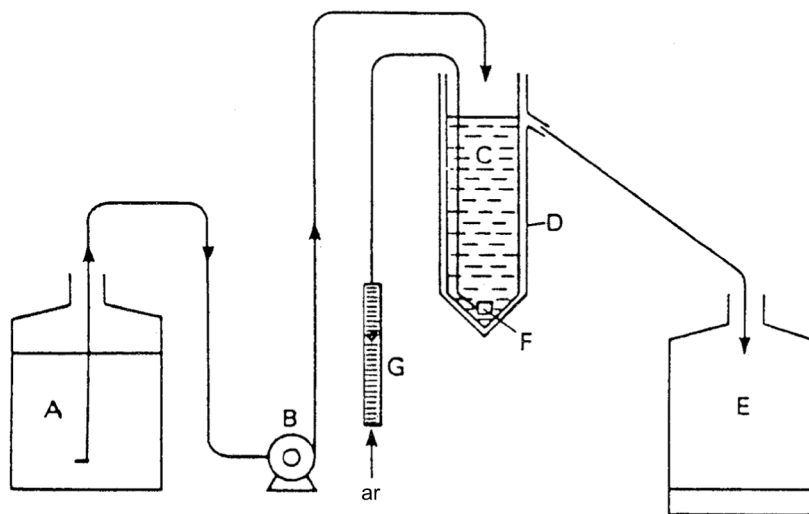


A = recipiente de armazenagem;	E = bomba de ar comprimido;
B = bomba de doseamento;	F = recipiente colector;
C = recipiente de arejamento (capacidade 3 l);	G = arejador;
D = decantador;	H = medidor de caudal de ar (facultativo).

Apêndice 2

Figura 1

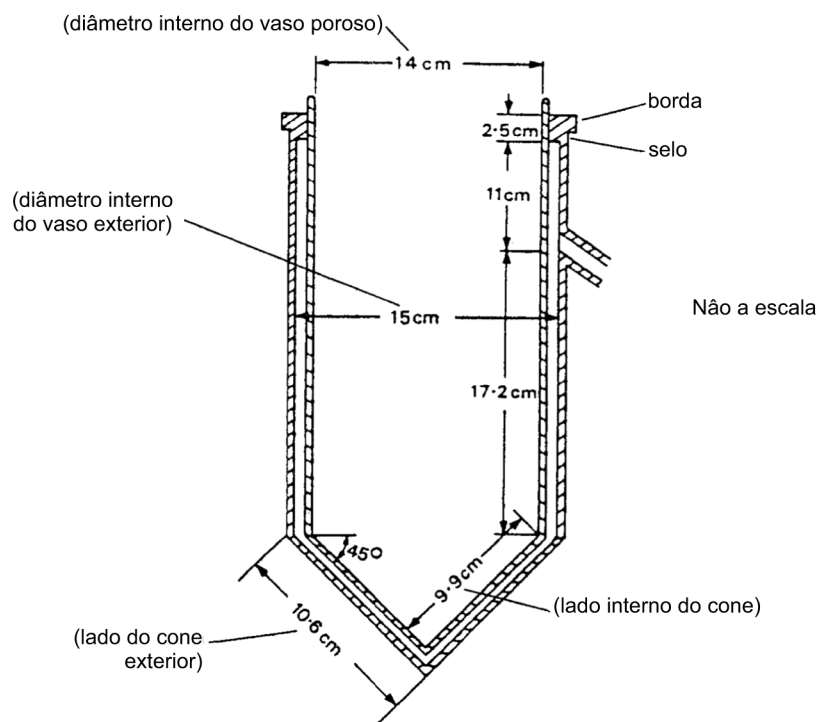
Equipamento utilizado na avaliação da biodegradação



- A = recipiente de armazenagem;
 B = bomba de doseamento;
 C = recipiente de arejamento poroso;
 D = recipiente estanque;
 E = coletor do efluente;
 F = arejador por difusão;
 G = medidor de rotações (facultativo).

Figura 2

Pormenor do vaso poroso de arejamento de três litros



Apêndice 3

Condições de funcionamento do ensaio de simulação das lamas activadas

Verificar em cada grupo

Equipamento

Confirmação OCDE

Vaso poroso

Modo de funcionamento

Unidade simples

Unidades interligadas

Unidades não interligadas

Transinoculação

Inexistente

Lamas activadas

Sobrenadante

Tempo médio de retenção

três horas

seis horas

Elemento nutritivo de base

Águas residuais domésticas

Águas residuais sintéticas

Inóculo

Efluente secundário

Compósito

Lamas activadas

Adição da substância a ensaiar

Desde o início

Aumento progressivo

Após formação das lamas

Análise

Específica

CQO

COD

C.11. BIODEGRADAÇÃO

LAMAS ACTIVADAS: ENSAIO DE INIBIÇÃO DA RESPIRAÇÃO

1. MÉTODO

1.1. INTRODUÇÃO

O método descrito avalia o efeito da substância de ensaio sobre os microorganismos medindo a taxa respiratória em condições determinadas, na presença de diferentes concentrações da substância de ensaio.

O objectivo do presente método é fornecer um processo de selecção rápido que permita identificar as substâncias de ensaio que podem afectar negativamente o funcionamento das estações de tratamento microbiano aeróbio e indicar as concentrações adequadas não inibidoras das substâncias de ensaio a utilizar nas experiências de biodegradação.

Um ensaio (preliminar) pode preceder o ensaio final, o qual fornecerá informações relativas à gama de concentrações a utilizar no ensaio principal,

Além dos ensaios com a substância a estudar, incluem-se no protocolo experimental dois controlos, um no início e outro no final da série de experiências. Cada lote de lamas activadas deve igualmente ser testado utilizando uma substância de referência.

O presente método aplica-se sobretudo a substâncias que, em virtude da sua solubilidade na água e fraca volatilidade, são susceptíveis de permanecer na água. Para as substâncias cuja solubilidade no meio do ensaio é limitada, pode não ser possível determinar a CE_{50} .

Os resultados baseados no consumo de oxigénio podem conduzir a conclusões erróneas quando a substância de ensaio tem tendência a romper a fosforilação oxidativa.

Para efectuar o ensaio, é útil dispor das seguintes informações:

- solubilidade na água,
- pressão de vapor,
- fórmula de estrutura,
- pureza da substância de ensaio.

Recomendação:

As lamas activadas podem conter organismos potencialmente patogénicos e devem ser manipuladas com prudência.

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

A taxa respiratória é o consumo de oxigénio dos microorganismos aeróbios contidos nas lamas das águas residuais, expresso geralmente em mg O_2 por mg de lamas por hora.

Para calcular o efeito inibidor de uma substância de ensaio numa dada concentração; exprime-se a taxa respiratória sob a forma de percentagem da média:

$$\left(1 - \frac{2R_s}{R_{c1} + R_{c2}}\right) \times 100 = \text{percentagem de inibição}$$

em que:

R_s = taxa de consumo de oxigénio da substância de ensaio a uma dada concentração,

Rc_1 = taxa de consumo de oxigénio do controlo 1,

Rc_2 = taxa de consumo de oxigénio do controlo 2.

Neste método, a CE_{50} é a concentração da substância de ensaio para a qual a taxa respiratória é 50 % da verificada no controlo, nas condições descritas neste método.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Recomenda-se a utilização como substância de referência do 3,5-diclorofenol, um conhecido inibidor da respiração e para cada lote de lammas activadas, determina-se a CE_{50} dessa substância a fim de avaliar se a sensibilidade das lammas não é anormal.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Mede-se a taxa respiratória das lammas activadas alimentadas com uma quantidade-padrão de águas residuais sintéticas após um tempo de contacto de 30 minutos ou de três horas, ou de ambos. Por outro lado, mede-se igualmente a taxa respiratória das mesmas lammas activadas em presença de diversas concentrações da substância de ensaio em condições idênticas. O efeito inibidor da substância de ensaio a uma determinada concentração é expresso como uma percentagem do valor médio das taxas respiratórias dos dois controlos. Calcula-se um valor de CE_{50} a partir das determinações feitas a diferentes concentrações.

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

Os resultados do ensaio são válidos se:

- as taxas respiratórias dos dois controlos não diferirem entre si mais de 15 %,
- a CE_{50} (30 minutos e/ou três horas) do 3,5-diclorofenol se situa num intervalo aceitável de 5 a 30 mg/l.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.6.1. *Reagentes*

1.6.1.1. Soluções da substância de ensaio

Preparam-se soluções frescas da substância de ensaio no início deste a partir de uma solução-mãe. É adequada uma solução-mãe com a concentração de 0,5 g/l quando se utiliza a metodologia a seguir indicada.

1.6.1.2. Solução da substância de controlo

Pode-se preparar, por exemplo, uma solução de 3,5-diclorofenol dissolvendo 0,5 g de 3,5 — diclorofenol em 10 ml de 1M NaOH, diluindo depois em água destilada até perfazer aproximadamente 30 ml e adicionando, ao mesmo tempo que se agita, 0,5 M H_2SO_4 até ao início da precipitação — são necessários aproximadamente 8 ml de 0,5 M H_2SO_4 — e por fim, dilui-se a mistura com água destilada até perfazer 1 litro. O pH deverá então estar compreendido entre 7 e 8.

1.6.1.3. Águas residuais sintéticas

Prepara-se uma alimentação de águas residuais sintéticas dissolvendo as seguintes quantidades de substâncias num litro de água:

- 16 g de peptona,
- 11 g de extracto de carne,
- 3 g de ureia,
- 0,7 g de NaCl,
- 0,4 g de $CaCl_2 \cdot 2H_2O$,

- 0,2 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$,
- 2,8 g de K_2HPO_4 .

Nota 1: Esta água residual sintética é 100 vezes mais concentrada do que a descrita no relatório técnico da OCDE «Método proposto para a determinação da biodegradação dos agentes tensoactivos utilizados nos detergentes sintéticos», de 11 de Junho de 1976, com a adição de hidrogenofosfato de dipotássio.

Nota 2: Se o meio que se preparou não for utilizado imediatamente, deve ser guardado em condições de obscuridade, à temperatura de 0 a 4°C, por um período máximo de uma semana, em condições em que não se verifique qualquer alteração da sua composição. Antes de se proceder ao seu armazenamento, o meio pode igualmente ser esterilizado ou proceder-se à adição da peptona e do extracto de carne um pouco antes de efectuar o ensaio. Antes de utilizar este meio, deve-se misturar completamente e ajustar-se o pH.

1.6.2. Equipamento

Aparelho de medição: não é essencial uma concepção específica do aparelho. Contudo, não deve existir qualquer espaço vazio por cima do líquido e o eléctrodo deve adaptar-se perfeitamente ao gargalo do frasco de medição.

E necessário um equipamento normal de laboratório e especialmente os seguintes instrumentos:

- aparelho de medição,
- dispositivo de arejamento,
- eléctrodo e aparelho de medição do pH,
- eléctrodo de oxigénio.

1.6.3. Preparação do inóculo

Como inóculo microbiano para o ensaio, utilizam-se lamas activadas provenientes de uma estação de tratamento de águas residuais que trate predominantemente águas residuais domésticas.

Se necessário, no laboratório, as partículas grosseiras podem ser removidas por sedimentação durante um curto período de tempo, por exemplo de 15 minutos, e decantando posteriormente o sobrenadante, contendo os sólidos mais finos, para ser utilizado no ensaio. Alternativamente, podem-se misturar as lamas durante alguns segundos recorrendo a um misturador.

Além disso, se se suspeitar que se encontram presentes substâncias inibidoras, as lamas devem ser lavadas com água da torneira ou com uma solução isotónica. Após centrifugação, o sobrenadante é decantado (repete-se este processo três vezes).

Pesa-se e seca-se uma pequena quantidade de lamas. A partir deste resultado, pode-se calcular a quantidade de lamas húmidas que devem ser dispersas em água de modo a obter lamas activadas com uma concentração de sólidos suspensos no licor misto entre 2 e 4 g/l. Este valor conduz a uma concentração no meio de 0,8 a 1,6g/l se se seguir a metodologia abaixo recomendada.

Se as lamas não puderem ser utilizadas no próprio dia da sua colheita, adicionam-se 50 ml de águas residuais sintéticas a cada litro de lamas activadas preparadas da forma acima descrita e arejam-se durante a noite à temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Conservam-se arejadas para serem utilizadas durante o dia. Antes da sua utilização, verifica-se o pH e, se necessário, ajusta-se a pH 6,0 a 8,0. Os sólidos suspensos no licor misto devem ser determinados tal como foi descrito no parágrafo anterior.

Se for necessário utilizar o mesmo lote de lamas durante vários dias consecutivos (quatro dias no máximo) adiciona-se uma outra dose de 50 ml de água residual sintética por litro de lamas no final de cada dia de trabalho.

1.6.4. Execução do ensaio

Duração/tempo de contacto:	30 minutos e/ou três horas, durante as quais o meio de ensaio é arejado
Água:	água de beber (desclorada, se necessário)
Fornecimento de ar:	ar limpo, sem óleo. Caudal de ar de 0,5 a 1 l/minuto
Aparelho de medição:	frasco de fundo plano tal como o destinado à medição da DBO

Medidor de oxigénio:	eléctrodo de oxigénio adequado com um registador
Solução nutritiva:	águas residuais sintéticas (ver acima)
Substância de ensaio:	a solução de ensaio fresca é preparada no início do ensaio
Substância de referência:	por exemplo, 3,5 diclorofenol (em pelo menos três concentrações)
Controlos:	amostra inoculada, sem substância de ensaio
Temperatura:	20 ± 2 °C.

Sugere-se seguidamente um método experimental que pode ser aplicado tanto à substância de ensaio como à substância de referência para um tempo de contacto de três horas.

Utilizam-se vários recipientes (por exemplo, provetas de um litro). .

Devem-se utilizar pelo menos cinco concentrações, espaçadas entre si por um factor constante que, de preferência, não deve ultrapassar 3,2.

No instante «0», a 16 ml de água residual sintética adiciona-se água até perfazer 300 ml. Juntam-se 200 ml de inóculo microbiano e deita-se a mistura (500 ml) para um primeiro recipiente (primeiro controlo C_1).

Os recipientes de ensaio devem ser continuamente arejados de modo a garantir que o O_2 dissolvido não desça abaixo de 2,5 mg/l e que, imediatamente antes da medição da taxa respiratória, a concentração de O_2 seja de cerca de 6,5 mg/l.

Ao fim de 15 minutos (15 minutos é um intervalo arbitrário, mas conveniente), repete-se o procedimento anterior com a excepção de que se adicionam 100 ml da solução de reserva da substância de ensaio a 16 ml de água residual sintética, antes de proceder à adição de água até perfazer 300 ml e do inóculo microbiano até aos 500 ml. Esta mistura é em seguida deitada para um segundo recipiente e arejada tal como anteriormente. Repete-se este procedimento de quinze em quinze minutos com diferentes volumes da solução-mãe da substância de ensaio a fim de obter uma série de recipientes com diferentes concentrações da substância de ensaio. Por fim, prepara-se um segundo controlo (C_2).

Ao fim de três horas regista-se o pH, deita-se uma amostra bem misturada do conteúdo do primeiro recipiente no aparelho de medição e mede-se a taxa respiratória durante um período máximo de 10 minutos.

Repete-se esta determinação com o conteúdo de cada recipiente a intervalos de quinze minutos de modo a que o tempo de contacto em cada recipiente seja de três horas.

A substância de referência é ensaiada de modo idêntico com cada lote de inóculo microbiano.

Será necessário um processo diferente (por exemplo, mais do que um aparelho de medição de oxigénio) quando se efectuarem as medições após 30 minutos de contacto.

Se for necessário determinar o consumo de oxigénio, preparam-se recipientes suplementares contendo a substância de ensaio, água residual sintética e água, mas sem lamas activadas. O consumo de oxigénio é medido e registado após um tempo de arejamento de 30 minutos e/ou três horas (tempo de contacto).

2. RESULTADOS E AVALIAÇÃO

A taxa respiratória calcula-se a partir do traçado do registador para as medições compreendidas aproximadamente entre 6,5 mg de O_2 /l e 2,5 mg de O_2 /l ou durante um período de dez minutos quando a taxa respiratória é baixa. A parte da curva respiratória sobre a qual se mede a taxa respiratória deve ser linear.

Se as taxas respiratórias dos dois controlos diferirem entre si de mais de 15 % ou se a CE_{50} (30 minutos e/ou três h) da substância de referência não se encontrar no intervalo aceitável (5 a 30 mg/l para o 3,5 — diclorofenol), o ensaio não é válido e deve ser repetido.

Calcula-se a percentagem de inibição para cada concentração de ensaio (ver 1.2). Representa-se graficamente em papel log-normal (ou log-probabilidade) a percentagem de inibição em função da concentração e deduz-se o valor de CE_{50} .

Podem ser determinados os intervalos de confiança a 95 % para os valores de CE_{50} segundo os métodos normalmente utilizados.

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deve incluir, se possível, as seguintes informações:

- substância de ensaio: dados de identificação química,
- sistema de ensaio: origem, concentração e eventual tratamento prévio das lamas activadas,
- condições de ensaio:
 - pH da mistura de reacção antes da medição da respiração,
 - temperatura de ensaio,
 - duração do ensaio,
 - substância de referência e respectiva CE_{50} ,
 - consumo abiótico de oxigénio (se se verificar),
- resultados:
 - todos os dados determinados,
 - curva de inibição e método de cálculo da CE_{50} ,
 - CE_{50} e, se possível, intervalos de confiança a 95 %, CE_{20} e CE_{80} ,
 - todas as observações e quaisquer desvios em relação ao presente método de ensaio que poderiam ter influenciado os resultados.

3.2. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

O valor da CE_{50} deve ser apenas considerado como uma indicação da toxicidade provável da substância de ensaio quer para o tratamento das águas residuais por lamas activadas quer para os microorganismos das águas residuais, uma vez que as complexas interações que se verificam no ambiente não podem ser simuladas com precisão num ensaio de laboratório. Além disso, as substâncias de ensaio que podem ter um efeito inibidor na oxidação do amoníaco podem também produzir curvas de inibição atípicas. Por conseguinte, tais curvas devem ser cuidadosamente interpretadas.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Internacional Standard ISO 8192-1986.
- (2) Broecker, B., Zahn, R., *Water Research* 11, 1977, p. 165.
- (3) Brown, D., Hitz, H. R., Schaefer, L., *Chemosphere* 10, 1981, p. 245.
- (4) ETAD (Ecological and Toxicological Association of Dyestuffs Manufacturing Industries) *Recommended Method n° 103*, also described by:
- (5) Robra, B., *Wasser/Abwasser* 117, 1976, p. 80.
- (6) Schefer, W., *Textilveredlung* 6, 1977, p. 247.
- (7) OCDE, Paris, 1981, *Test Guideline 209*, Decisão C(81) 30 final do Conselho.

C.12. BIODEGRADAÇÃO

ENSAIO LASC MODIFICADO

1. MÉTODO

1.1. INTRODUÇÃO

O objectivo do método é avaliar a biodegradação final potencial de substâncias orgânicas solúveis em água e não voláteis quando expostas a concentrações relativamente elevadas de microorganismos durante um longo período de tempo. Durante este período, a viabilidade dos microorganismos é mantida através da adição diária de uma alimentação de águas residuais decantadas. (Para conservação das águas residuais durante o fim-de-semana as mesmas poderão ser guardadas a 4°C. Podem-se utilizar alternativamente as águas residuais sintéticas do ensaio de confirmação da OCDE.)

Pode verificar-se uma adsorção físico-química aos sólidos suspensos, o que deve ser tomado em consideração na interpretação dos resultados (ver 3.2).

Devido ao extenso período de retenção da fase líquida (36 horas) e à adição intermitente de nutrientes, o ensaio não simula as condições que ocorrem numa estação de tratamento de águas residuais. Os resultados obtidos com várias substâncias de ensaio indicam que o ensaio apresenta um elevado potencial de biodegradação.

As condições do ensaio são altamente favoráveis à selecção e/ou adaptação de microorganismos capazes de degradar o composto ensaiado. (O procedimento pode igualmente ser utilizado na produção de inóculos adaptados para utilização em outros ensaios.)

No presente método, utiliza-se a medida da concentração de carbono orgânico dissolvido na avaliação da biodegradação final das substâncias de ensaio. É preferível determinar o COD após acidificação e purificação do que através da diferença de $C_{\text{total}} - C_{\text{inorgânico}}$.

A utilização simultânea de um método analítico específico pode permitir a avaliação da degradação primária da substância (desaparecimento da estrutura química original).

O método apenas se aplica às substâncias orgânicas de ensaio que, nas concentrações utilizadas no ensaio:

- são solúveis em água (pelo menos 20 mg de carbono orgânico dissolvido/l),
- possuem uma pressão de vapor negligenciável,
- não adsorvem significativamente no sistema de ensaio,
- não se perdem na solução de ensaio devido a formação de espuma,
- não exercem efeitos inibidores sobre as bactérias.

Deve ser determinado o teor em carbono orgânico da substância de ensaio,

As informações respeitantes às proporções relativas dos componentes principais das substâncias de ensaio serão úteis na interpretação dos resultados obtidos, especialmente nos casos em que os resultados são baixos ou marginais.

As informações relativas à toxicidade da substância para os microorganismos podem ser úteis na interpretação dos resultados baixos e na selecção das concentrações de ensaio adequadas.

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

C_E = concentração do composto ensaiado em carbono orgânico presente ou adicionado às águas residuais decantadas no início do período de arejamento (mg/l),

C_e = concentração do carbono orgânico dissolvido presente no licor sobrenadante do ensaio no final do período de arejamento (mg/l),

C_c = concentração do carbono orgânico dissolvido presente no licor sobrenadante do controlo no final do período de arejamento (mg/l).

No presente método a biodegradação é definida como o desaparecimento de carbono orgânico. A biodegradação pode ser expressa em:

1. Remoção em percentagem D_{ad} da quantidade de substância adicionada diariamente:

$$D_{da} = \frac{C_T - (C_t - C_c)}{C_T} \times 100 \quad [1]$$

em que:

D_{ad} = degradação/adicação diária.

2. A remoção em percentagem D_{ad} da quantidade de substância presente no início de cada dia:

$$D_{ssd} = \frac{2C_T + C_{ti} - C_{ci} - 3C_{t(i+1)} + 3C_{c(i+1)}}{2C_T + C_{ti} - C_{ci}} \times 100 \quad [2(a)]$$

$$\approx \frac{2C_T - 2(C_t - C_c)}{2C_T + (C_t - C_c)} \times 100 \quad [2(b)]$$

em que:

D_{ad} = degradação/substância no início do dia;

em que os índices i e $(i + 1)$ se referem ao dia da medição.

A equação 2(a) é recomendada se o COD do efluente variar de um dia para outro, enquanto a equação 2(b) pode ser utilizada quando o COD do efluente permanece relativamente constante de um dia para o outro.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Em alguns casos, quando se investiga uma nova substância, podem ser úteis substâncias de referência; contudo, não se recomenda aqui qualquer substância de referência específica.

Fornecem-se dados relativos a diversos compostos avaliados em ensaios de intercalibração (ver apêndice 1) de modo a que se possa fazer a calibração do método de tempos a tempos e a permitir a comparação dos resultados quando se utiliza outro método.

1.4. PRINCIPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Numa unidade de lamas activadas semicontínua (LASC), colocam-se lamas activadas provenientes de uma estação de tratamento de águas residuais. Adicionam-se o composto a ensaiar e as águas residuais domésticas decantadas e a mistura é arejada durante 23 horas. Pára-se depois o arejamento, permitindo a sedimentação das lamas e retira-se o licor sobrenadante.

As lamas que permanecem no tanque de arejamento são então misturadas com outra alíquota do composto de ensaio e águas residuais e repete-se o processo.

Avalia-se a biodegradação através da determinação do teor em carbono orgânico dissolvido no licor sobrenadante. Compara-se este valor com o que se obtém para o licor proveniente de um tubo de controlo contendo apenas águas residuais decantadas.

Quando se utiliza um método analítico específico, podem medir-se alterações na concentração da molécula original devido a biodegradação (Biodegradação primária).

1.5. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

A reprodutibilidade do presente método baseado na remoção do carbono orgânico dissolvido ainda não foi, estabelecida. (Quando se considera a biodegradação primária, obtém-se dados muito precisos para substâncias que são consideravelmente degradadas.)

A sensibilidade do método é determinada em larga medida pela variabilidade do ensaio em branco e, em menor extensão, pela precisão da determinação do carbono orgânico dissolvido e teor do composto de ensaio no licor, no início de cada ciclo.

1.6. DETENÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.6.1. *Preparações*

Ligam-se um número suficiente de unidades de arejamento limpas (pode-se utilizar alternativamente a unidade de ensaio de 1,51 de LASC inicial) e tubos para entrada do ar (figura 1) para cada substância de ensaio e controlo. O ar comprimido fornecido às unidades de ensaio, limpo através de um filtro de algodão, deve ser isento de carbono orgânico e pré-saturado com água de modo a reduzir as perdas por evaporação.

De uma estação de lamas activadas que trate predominantemente águas residuais domésticas, retira-se uma amostra de licor misto contendo 1 a 4 g de sólidos suspensos/l. São necessários por cada unidade de arejamento cerca de 150 ml de licor misto.

Preparam-se soluções de reserva da substância de ensaio em água destilada; a concentração normalmente exigida é de 400 mg/l como carbono orgânico o que dá uma concentração no composto de ensaio de 20 mg/l de carbono no início de cada ciclo de arejamento se não se verificar biodegradação.

É possível utilizar concentrações mais elevadas se a toxicidade em relação aos microorganismos o permitir.

Mede-se o teor em carbono orgânico nas soluções de reserva.

1.6.2. *Condições de ensaio*

O ensaio deve efectuar-se a 20 a 25 °C.

Utiliza-se uma concentração elevada de microorganismos aeróbios (de 1 a 4 g/l de sólidos suspensos) e o período de retenção efectiva é de 36 horas. As substâncias carbonadas presentes nas águas residuais de alimentação são largamente oxidadas, em geral no espaço de oito horas após o início de cada ciclo de arejamento. Em seguida, verifica-se uma respiração endógena das lamas durante o restante período de arejamento, no decurso do qual o único substrato disponível é o composto de ensaio a não ser que este seja também rapidamente metabolizado. Estas características associadas a uma reinoculação diária do ensaio quando são utilizadas como meio águas residuais domésticas fornecem condições altamente favoráveis tanto para a adaptação como para elevados graus de biodegradação.

1.6.3. *Execução do ensaio*

Retira-se uma amostra de licor misto de uma unidade laboratorial ou estação de lamas activadas predominantemente doméstica e conserva-se em condições aeróbias até ser utilizada no laboratório. Cada uma das unidades de arejamento e de controlo são cheios com 150 ml de licor misto (se se utilizar a unidade de ensaio LASC, multiplicar por 10 os volumes dados) e dá-se início ao arejamento. Após 23 horas, interrompe-se o arejamento e deixam-se sedimentar as lamas durante 45 minutos. Abrem-se sucessivamente as torneiras de cada um dos recipientes e rejeitam-se fracções de 100 ml do licor sobrenadante. Recolhe-se uma amostra de águas residuais domésticas decantadas imediatamente antes da utilização e adicionam-se 100 ml às lamas remanescentes em cada unidade de arejamento. Recomeça-se de novo o arejamento. Nesta fase, não se adicionam quaisquer substâncias de ensaio e as unidades são diariamente alimentadas com águas residuais domésticas apenas até ao momento em que se obtém na decantação um licor sobrenadante límpido. Este processo demora geralmente duas semanas, no fim das quais o carbono orgânico dissolvido no licor sobrenadante no final de cada ciclo de arejamento se aproxima de um valor constante.

No final deste período, misturam-se as lamas decantadas separadamente e adicionam-se a cada unidade 50 ml das lamas compostas resultantes.

Adicionam-se às unidades de controlo 95 ml de águas residuais decantadas mais 5 ml de água e às unidades de ensaio 95 ml mais 5 ml da solução adequada de reserva do composto de ensaio (400 mg/l). Recomeça-se de novo o arejamento que prossegue durante 23 horas. Deixam-se então sedimentar as lamas durante 45 minutos e o sobrenadante é retirado e analisado o seu teor em carbono orgânico dissolvido.

Este processo de enchimento e esvaziamento é repetido diariamente ao longo do ensaio.

Antes da sedimentação pode ser necessário limpar as paredes das unidades de modo a evitar a acumulação de sólidos acima do nível do líquido. Para evitar uma contaminação cruzada, utilizam-se raspadores ou escovas individuais para cada unidade.

O ideal seria determinar diariamente o carbono orgânico dissolvidos nos licores sobrenadantes, embora sejam admissíveis análises menos frequentes. Antes da análise, os licores são filtrados através de filtros limpos de membrana de 0,45 mm ou centrifugados. Os filtros de membrana são adequados se se garantir que nem libertam carbono nem absorvem a substância durante o processo de filtração. A temperatura da amostra não deve exceder 40°C quando se encontra na centrífuga.

A duração do ensaio para compostos que apresentam uma biodegradação fraca ou nula é indeterminada, mas a experiência sugere que deve ser, em geral, de pelo menos 12 semanas, mas nunca mais de 26 semanas.

2. RESULTADOS E AVALIAÇÃO

Representam-se graficamente, em função do tempo, os valores de carbono orgânico dissolvido nos licores sobrenadantes das unidades de ensaio e das unidades de controlo.

À medida que ocorre a biodegradação, o nível obtido no ensaio aproximar-se-á do obtido no controlo. Quando se verificar que a diferença entre os dois níveis é constante ao longo de três medições consecutivas, efectua-se o número de medições posteriores que seja necessário para permitir o tratamento estatístico dos dados e calcula-se a percentagem de biodegradação do composto de ensaio (D_{ad} , D_{sid} , ver 1.2).

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio, deve incluir, se possível, as seguintes informações:

- todas as informações relativas à natureza das águas residuais, tipo de unidade utilizada e resultados experimentais respeitantes à substância ensaiada, substância de referência se utilizada e ensaio em branco,
- a temperatura,
- a curva de remoção com a descrição e processo de cálculo (ver 1.2),
- data e local onde foram recolhidas as lamas activadas e as águas residuais, estado de adaptação, concentração, etc.,
- razões científicas de quaisquer alterações da metodologia,
- assinatura e data.

3.2. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Uma vez que a substância a ser ensaiada através do presente método não será imediatamente biodegradável, qualquer remoção do COD devido apenas à biodegradação será normalmente gradual ao longo de vários dias ou semanas, excepto nos casos em que a adaptação é repentina, tal como é indicado por uma remoção abrupta que ocorra após algumas semanas.

Todavia, a adsorção físico-química pode, por vezes, desempenhar um papel importante; isto verifica-se quando há uma remoção total ou parcial do COD adicionado no início. O que acontece posteriormente depende de factores tais como os graus de adsorção e a concentração dos sólidos em suspensão no efluente rejeitado. Em geral, a diferença entre a concentração de COD nos licores sobrenadantes do controlo e do ensaio aumenta gradualmente a partir de um valor inicial baixo e esta diferença mantém-se então ao nível do novo valor durante o resto da experiência, a menos que tenha lugar a adaptação.

Se for necessário estabelecer uma distinção entre biodegradação (ou biodegradação parcial) e adsorção, são necessários outros ensaios. Esta distinção pode ser obtida de diferentes modos mas o mais convincente é utilizar como inóculo o licor sobrenadante, ou as lamas, num método de base (de preferência um ensaio respirométrico).

As substâncias de ensaio que no presente ensaio apresentam remoções elevadas de COD não devidas a adsorção devem ser consideradas como potencialmente biodegradáveis.

Uma remoção parcial não devida a adsorção indica que a substância é sujeita pelo menos a alguma biodegradação. Uma remoção baixa ou nula de COD pode ser devida a inibição dos microorganismos pela substância de ensaio e isto pode também ser demonstrado pela lise e perda de lamas, dando origem a sobrenadantes turvos. O ensaio deve ser repetido, utilizando uma concentração mais baixa de substância de ensaio.

A utilização de um método analítico específico ou da substância de ensaio marcada com ^{14}C pode permitir uma maior sensibilidade. No caso do composto de ensaio marcado com ^{14}C , a recuperação de $^{14}\text{CO}_2$ confirmará que se verificou biodegradação.

Quando os resultados se expressam também em termos de biodegradação primária, deve ser fornecida, se possível, uma explicação relativa à alteração de estrutura química que conduz à perda de resposta da substância de ensaio original.

A validação do método analítico deve ser fornecida conjuntamente com a resposta obtida no ensaio em branco.

4. REFERÊNCIAS

- (1) OCDE, Paris, 1981, *Test Guideline 302 A*, Decisão C(81) 30 final do Conselho.

Apêndice 1

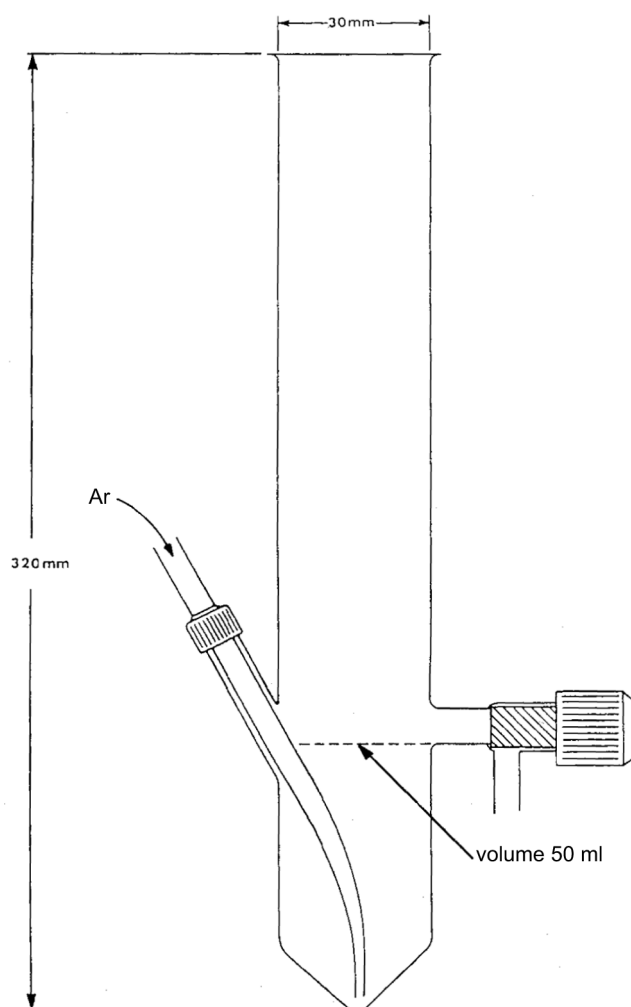
Ensaio LASC: EXEMPLOS DE RESULTADOS

Substâncias	C_E (mg/l)	$c_e - c_c$ (mg/l)	Percentagem de biodegradação	Duração de ensaio (dias)
Sulfonato de 4-acetilaminobenzeno	17,2	2,0	85	40
Sulfonato de tetrapropilenobenzeno	17,3	8,4	51,4	40
4-nitrofenol	16,9	0,8	95,3	40
Dietilenoglicol	16,5	0,2	98,8	40
Anilina	16,9	1,7	95,9	40
Tetracarboxilato de ciclopentano	17,9	3,2	81,1	120

Apêndice 2

Exemplo de equipamento

Figure 1



C.13. BIOCONCENTRAÇÃO: ENSAIO DINÂMICO COM PEIXES**1. MÉTODO**

O presente método é idêntico ao método OCDE TG 305 (1996).

1.1. INTRODUÇÃO

O presente método descreve um processo para a caracterização da bioconcentração potencial de determinadas substâncias em peixes, em condições dinâmicas. Embora seja largamente preferível o recurso a regimes dinâmicos, podem também utilizar-se regimes semiestáticos, na condição de serem satisfeitos os critérios de validade.

O método fornece informações suficientes para a realização do ensaio, permitindo todavia, em larga medida, a adaptação das condições experimentais ao perfil dos laboratórios e às características das substâncias em estudo. O método destina-se particularmente a substâncias orgânicas estáveis com $\log P_{ow}$ compreendido entre 1,5 e 6,0 (1), podendo, no entanto, aplicar-se também a substâncias superlipófilas ($\log P_{ow} > 6,0$). A estimativa preliminar do factor de bioconcentração (BCF) das referidas substâncias superlipófilas, por vezes designado K_B , é, em geral, superior ao factor de bioconcentração do estado estacionário (BCF_{ss}) obtido por via experimental. A equação de Bintein *et al.* (2) permite obter uma estimativa preliminar do factor de bioconcentração de substâncias orgânicas com P_{ow} da ordem de 9,0. Os parâmetros que caracterizam o potencial de bioconcentração incluem a constante de velocidade de fixação (k_1), a constante de velocidade de depuração (k_2) e o factor BCF_{ss} .

A utilização de marcadores radioactivos poderá facilitar a análise de amostras de água e de peixes, bem como a determinação da necessidade de identificar e quantificar os produtos de degradação. Caso se determinem os resíduos radioactivos totais (nomeadamente por combustão ou solubilização de tecidos), o factor BCF é calculado com base na substância de origem, nos metabolitos fixados e no carbono assimilado, não sendo, por tal facto, directamente comparável ao factor decorrente de análise química específica da substância de origem.

Nos ensaios com radiomarcadores podem utilizar-se métodos de depuração, determinando o factor BCF com base da substância de origem e procedendo, se necessário, à caracterização dos metabolitos. É também possível combinar um estudo de metabolismo dos peixes com um estudo de bioconcentração, mediante a análise e identificação dos resíduos em tecidos.

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

A bioconcentração/bioacumulação consiste no aumento da concentração da substância em estudo num determinado organismo ou em determinados tecidos do mesmo, relativamente à respectiva concentração no meio circundante.

O factor de bioconcentração (BCF ou K_B) em qualquer momento da fase de fixação do ensaio de acumulação consiste no quociente entre a concentração da substância em estudo nos peixes ou em determinados tecidos dos mesmos [C_t expressa em $\mu\text{g/g}$ (ppm)] e a respectiva concentração no meio circundante [C_w , expressa em $\mu\text{g/ml}$ (ppm)].

O factor de bioconcentração num estado estacionário (BCF_{ss} ou K_B) não sofre uma alteração significativa num período longo, uma vez que a concentração da substância em estudo no meio circundante é constante no período em causa.

Um estado estacionário é atingido sempre que a representação gráfica da concentração da substância em estudo nos peixes (C_t) em função do tempo consista numa linha paralela ao eixo dos tempos e três determinações sucessivas de C_t em amostras recolhidas com intervalos de, pelo menos, dois dias, apresentem valores que não difiram em mais de 20 %, na ausência de diferenças significativas entre os três períodos de amostragem. No caso das amostras combinadas, são necessárias, pelo menos, quatro determinações. No caso de substâncias recolhidas de forma lenta, o intervalo mais adequado é de sete dias.

O factor de bioconcentração calculado directamente a partir das constantes cinéticas (k_1/k_2) constitui o factor de concentração cinética, BCF_k .

O coeficiente de partição octanol-água (P_{ow}), também designado K_{ow} , consiste no quociente entre a solubilidade de uma substância em n-octanol e em água, em condições de equilíbrio (método A.8). O logaritmo de P_{ow} é utilizado como indicador de potencial químico de bioconcentração em organismos aquáticos.

A fase de exposição ou de fixação consiste no tempo de exposição dos peixes à substância em estudo.

A constante de velocidade de fixação (k_1) consiste no valor numérico que define a taxa de aumento da concentração da substância em estudo nos peixes ou em determinados tecidos dos mesmos, sempre que se encontrem expostos à substância em causa (a constante k_1 é expressa em dias⁻¹).

A fase de pós-exposição ou de depuração consiste no período durante o qual se estuda a depuração da substância pelos peixes ou por tecidos específicos dos mesmos, na sequência da transferência dos animais de um meio que contenha a substância em estudo para um meio que a não contenha.

A constante de velocidade de depuração (k_2) é o valor numérico que define a velocidade de redução da concentração da substância em estudo nos peixes ou em determinados tecidos dos mesmos, na sequência da transferência dos animais de um meio que contenha a substância em estudo por um meio que a não contenha (a constante k_2 é expressa em dias⁻¹).

1.3. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

O ensaio é constituído por duas fases, designadamente a fase de exposição (fixação) e a fase de pós-exposição (depuração). Durante a fase de fixação, diversos grupos de peixes de uma determinada espécie são expostos a, pelo menos, duas concentrações da substância em estudo. Seguidamente, os animais são transferidos para um meio isento da referida substância, onde decorre a fase de depuração. Esta última é sempre necessária, excepto no caso de a quantidade de substância absorvida na fase de fixação ser desprezável ($BCF < 10$). A concentração da substância em estudo no peixe ou em determinados tecidos do mesmo é acompanhada em ambas as fases do ensaio. Além dos grupos expostos às duas concentrações de ensaio, submete-se um grupo de peixes a condições idênticas, excepto no que respeita à substância em estudo, que é omitida, de modo a estabelecer uma correlação entre os eventuais efeitos negativos observados no ensaio de bioconcentração com um grupo de controlo de referência e a obter as concentrações de fundo da substância em estudo.

A fase de fixação deverá durar 28 dias, excepto se o equilíbrio for atingido antes. A equação que se apresenta no apêndice 3 permite prever a duração da fase de fixação, bem como o surgimento da fase estacionária. O período de depuração inicia-se com a transferência dos peixes para um meio idêntico que não contenha a substância em estudo, num recipiente limpo. Sempre que possível, deve calcular-se o factor de bioconcentração na forma de quociente (BCF_{ss}) das concentrações nos peixes (C_i) e na água (C_w , num estado estacionário aparente, e também o factor de bioconcentração cinético (BCF_k , que consiste no quociente entre as constantes de velocidade de fixação (k_1) e de depuração (k_2), assumindo um processo cinético de primeira ordem. Caso o processo não apresenta uma cinética de primeira ordem, devem aplicar-se modelos mais complexos (ver apêndice 5).

Caso não se atinja o estado estacionário em 28 dias, a fase de fixação deve ser prolongada, até um máximo de 60 dias, iniciando-se então a fase de depuração.

A constante de velocidade de fixação, a constante de velocidade de depuração, as constantes decorrentes da aplicação de modelos mais complexos, o factor de bioconcentração e, sempre que possível, os intervalos de confiança de cada parâmetro, devem ser calculados com base no modelo mais adequado à descrição das concentrações da substância em estudo nos peixes e na água.

O factor BCF é expresso em função da massa húmida total dos peixes. Todavia, podem utilizar-se, para fins específicos, determinados tecidos ou órgãos (por exemplo, tecido muscular ou fígado), caso as dimensões dos animais o permitam, podem também dividir-se os peixes em porções comestíveis e não comestíveis (vísceras). Uma vez que, no que respeita a muitas substâncias orgânicas, existe uma nítida relação entre o potencial de bioconcentração e a lipofilia, existe também uma relação entre o teor de lípidos dos peixes em estudo e a bioconcentração das substâncias em causa. De modo a reduzir a variabilidade dos resultados, no que respeita às substâncias com elevada lipofilia ($\log P_{ow} > 3$), a bioconcentração deve ser expressa em função de teor de lípidos, bem como da massa corpórea total.

Sempre que tal seja viável, deve determinar-se o teor de lípidos do material biológico utilizado para determinar a concentração da substância em estudo.

1.4. INFORMAÇÕES RELATIVAS À SUBSTÂNCIA EM ESTUDO

Antes de realizar o ensaio de bioconcentração, devem possuir-se as seguintes informações relativas a substância em estudo:

- a) Solubilidade em água;

- b) Coeficiente de partição octanol-água, P_{ow} (também designado K_{ow}), determinado por HPLC de acordo com o método A.8;
- c) Hidrólise;
- d) Fotossensibilidade em água, determinada por irradiação solar natural ou simulada, bem como nas condições de irradiação do ensaio de bioconcentração (3);
- e) Tensão superficial (no caso de substâncias cujo $\log P_{ow}$ não possa ser determinado);
- f) Pressão de vapor;
- g) Biodegradabilidade natural (se adequado).

A toxicidade para a espécie utilizada no ensaio constitui outra das informações necessárias, devendo conferir-se especial atenção à toxicidade assintótica (isto é, independente do tempo) LC_{50} . Para a quantificação da substância em estudo nas soluções, bem como no material biológico, deve utilizar-se um método analítico adequado, de exactidão, precisão e sensibilidade conhecidas, devendo possuir-se informações pormenorizadas sobre a preparação e armazenagem da amostra. Deve também conhecer-se o limite de detecção da substância em estudo na água e nos tecidos dos peixes. Caso se utilize uma substância marcada com ^{14}C , é necessário conhecer a percentagem de radioactividade associada às impurezas.

1.5. VALIDADE DO ENSAIO

Para que o ensaio seja válido, devem satisfazer-se as seguintes condições:

- as variações de temperatura devem ser inferiores a $\pm 2^{\circ}C$,
- a concentração de oxigénio dissolvido não deve ser inferior a 60 % da concentração de saturação,
- a variação da concentração da substância em estudo nas células não deve exceder ± 20 % da média dos valores determinados na fase de fixação,
- a mortalidade ou quaisquer outros efeitos nocivos registados no final do ensaio, tanto no que respeita ao lote de controlo como ao lote de ensaio, deve ser inferior a 10 %; caso o ensaio se prolongue por várias semanas ou meses, os referidos factores não devem exceder 5 % por mês e 30 % na totalidade.

1.6. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

A utilização de substâncias de referência de potencial de bioconcentração conhecido apresenta utilidade na comprovação do procedimento experimental, sempre que necessário. Todavia, não se afigura ainda possível recomendar substâncias específicas.

1.7. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.7.1. Equipamento

No que respeita ao equipamento, deve evitar-se a utilização de materiais que apresentem riscos de dissolução, absorção ou lixiviação, ou possam apresentar efeitos nocivos nos animais. Podem utilizar-se tanques em forma de paralelepípedo ou cilindro, de um material quimicamente inerte, com capacidade adequada à população. Deve evitar-se tanto quanto possível o uso de tubos de plástico flexível, recorrendo-se, de preferência, a tubos de teflon (R), aço inoxidável e/ou vidro. A experiência tem demonstrado que, no caso de substâncias com coeficientes de adsorção elevados, nomeadamente os piretróides sintéticos, pode ser necessário utilizar vidro silanizado. Em tais casos, o equipamento deve ser descartado após o uso.

1.7.2. Água

Em princípio, o ensaio deve utilizar água natural proveniente de uma fonte não contaminada e de qualidade uniforme. A qualidade da água de diluição deve permitir a sobrevivência da espécie durante as fases de aclimação e de ensaio sem que os animais adquiram uma aparência ou um comportamento anormais. Em condições ideais, a espécie em causa deve poder sobreviver, desenvolver-se e reproduzir-se na água de diluição (nomeadamente em cultura laboratorial ou num ensaio de toxicidade em toda a vida). Devem conhecer-se, pelo menos, os seguintes parâmetros: pH, dureza, sólidos totais, carbono orgânico total, bem como, se possível,

amónio, nitritos, alcalinidade e, no caso de ensaios com espécies marinhas, salinidade. Os parâmetros que possuem importância para o bem-estar dos animais são bem conhecidos; contudo, o apêndice 1 apresenta as concentrações máximas recomendadas de diversos factores em águas doces e salgadas.

A qualidade da água deve manter-se constante no decurso do ensaio. O pH deve oscilar entre 6,0 e 8,5, embora, no decurso de um determinado ensaio, a respectiva variação não deva exceder $\pm 0,5$. De modo a assegurar que a água de diluição não afecta os resultados (nomeadamente devido à complexação da substância em estudo) ou o comportamento dos animais, devem recolher-se periodicamente amostras da mesma para análise, procedendo-se à determinação dos metais pesados (Cu, Pb, Zn, Hg, Cd, Ni), principais aniões e catiões (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-}), pesticidas (nomeadamente pesticidas organofosforados totais e organoclorados totais), carbono orgânico total e sólidos em suspensão, com uma frequência aproximadamente trimestral, caso a qualidade da água de diluição seja relativamente constante. Se a referida qualidade se revelar constante num período não inferior a um ano, as determinações podem ser menos frequentes, efectuando-se com intervalos alargados (por exemplo, semestrais).

O teor de partículas naturais, bem como de carbono orgânico total, da água de diluição deve ser tão reduzido quanto possível, de modo a evitar a adsorção de substância em estudo pela matéria orgânica, reduzindo a sua biodisponibilidade (4). O valor máximo aceitável é de 5 mg/l, no caso das partículas (matérias secas que não passem através de um filtro de 0,45 μm) e 2 mg/l no caso do carbono orgânico total (ver apêndice 1). Se necessário, a água deverá ser filtrada antes do uso. A contribuição das excreções dos peixes e dos resíduos alimentares para o teor de carbono orgânico total deve ser tão reduzida tanto quanto possível. No decurso do ensaio, a concentração de carbono orgânico no recipiente não deve exceder a concentração de carbono orgânico proveniente da substância em estudo e do agente de solubilização (se utilizado) em mais de 10 mg/l ($\pm 20\%$).

1.7.3. Soluções de ensaio

Prepara-se uma solução-mãe da substância em estudo, de concentração adequada, de preferência misturando ou agitando a substância com a água de diluição. Não é aconselhável utilizar solventes ou dispersantes (agentes de solubilização) embora, em determinados casos, possa recorrer-se aos mesmos para obter uma concentração adequada. Os solventes que podem ser utilizados são o etanol, o metanol os éteres mono e dimetilico do etilenoglicol a dimetilformamida e o trietilenoglicol. No que respeita aos dispersantes, podem utilizar-se o Cremophor RH40, o Tween 80, a metilcelulose a 0,01 % e o HCO-40. Os agentes que apresentem biodegradabilidade natural devem utilizar-se com precaução, uma vez que podem originar problemas de crescimento bacteriano nos ensaios dinâmicos. A substância em estudo pode ser marcada com um radioisótopo, devendo ser de um grau de pureza elevado (de preferência superior a 98 %).

Em ensaios dinâmicos, é necessário utilizar um sistema de fornecimento e diluição contínuos da solução-mãe da substância em estudo (por exemplo, bomba com regulação de caudal, diluidor proporcional, sistema de saturação), de modo a alimentar os recipientes de ensaio. De preferência, devem efectuar-se diariamente pelo menos cinco renovações do volume de cada recipiente de ensaio. Em princípio, devem utilizar-se condições dinâmicas; todavia, se tal não se afigurar possível (por exemplo, caso os animais sejam afectados) pode recorrer-se a uma técnica semiestática, na condição de serem satisfeitos os critérios de validade. Os caudais da solução-mãe e da água de diluição devem ser verificados 48 horas antes do início do ensaio e com uma frequência pelo menos diária no decurso do mesmo. A referida verificação inclui a determinação do caudal em cada recipiente de ensaio, devendo assegurar-se que o mesmo não regista uma variação superior a 20 % num determinado recipiente ou entre dois recipientes.

1.7.4. Selecção das espécies

Os principais critérios de selecção das espécies consistem na sua fácil disponibilidade, nas dimensões adequadas e na facilidade de manutenção no laboratório. Outros critérios incluem o interesse recreativo e comercial e a importância ecológica, bem como a sensibilidade relativa, os antecedentes de utilização, etc.

O apêndice 2 refere as espécies recomendadas. Podem utilizar-se outras espécies, devendo, contudo, adaptar-se os procedimentos de modo a obter condições de ensaio adequadas. Em tais casos, deve apresentar-se o fundamento da selecção da espécie e do método experimental.

1.7.5. Tratamento dos peixes

Deve aclimatar-se a população de ensaio durante, pelo menos, duas semanas, à temperatura de ensaio, alimentando-a com uma dieta idêntica à utilizada no decurso do ensaio.

Após um período de adaptação de 48 horas, regista-se a mortalidade, aplicando os seguintes critérios:

— caso a mortalidade exceda 10 % da população em sete dias, desprezar a totalidade do lote,

- caso a mortalidade se situe entre 5 e 10 % da população em sete dias, aclimatar os peixes por um período de sete dias suplementares,
- caso a mortalidade seja inferior a 5 % da população em sete dias, aproveitar o lote; se a mortalidade registada no segundo período de sete dias for superior a 5 %, desprezar a totalidade do lote.

Os animais a utilizar nos ensaios não devem apresentar doenças ou perturbações observáveis. Devem rejeitar-se quaisquer animais doentes. Além disso, os peixes não devem ser objecto de tratamento contra eventuais afecções nas duas semanas que precedem o ensaio e durante o mesmo.

1.8. REALIZAÇÃO DO ENSAIO

1.8.1. Ensaio preliminar

Poderá ser útil efectuar um ensaio preliminar com o objectivo de otimizar as condições do ensaio definitivo no que respeita, nomeadamente, à selecção da concentração da substância em estudo e à duração das fases de fixação e de depuração.

1.8.2. Condições de exposição

1.8.2.1. Duração da fase de fixação

Pode obter-se uma estimativa da duração da fase de fixação com base na experiência prática (por exemplo, dados decorrentes de um estudo prévio ou dados relativos à acumulação de uma substância afim), bem como em determinadas relações empíricas que utilizam conhecimentos decorrentes da solubilidade da substância em água ou do respectivo coeficiente de partição octanol/água (ver apêndice 3).

A fase de fixação deve durar, pelo menos, 28 dias, excepto se o equilíbrio for atingido antes. Se o estado estacionário não for atingido em 28 dias, deve prolongar-se a fase de fixação, procedendo a determinações complementares, até um máximo de 60 dias.

1.8.2.2. Duração da fase de depuração

Em geral, um período com uma duração de ordem de metade da fase de fixação é suficiente para uma redução adequada (isto é, cerca de 95 %) da carga corporal da substância em estudo (ver o apêndice 3 para uma especificação da estimativa). Se o período necessário para a referida redução de 95 % exibir uma extensão que o torne impraticável (mais de 56 dias), pode utilizar-se um período mais curto (ou seja, até que a concentração da substância em estudo seja inferior a 10 % da concentração do estado estacionário). Todavia, no caso de substâncias com perfis de fixação e de depuração mais complexos que no caso de modelos com uma cinética de primeira ordem, devem adaptar-se períodos de depuração alargados, e modo a determinar a velocidade do processo. O período em causa pode ser definido pelo período em que a concentração da substância em estudo nos peixes permanece superior ao limite de detecção.

1.8.2.3. Número de animais

O número de peixes a utilizar por concentração de ensaio deve ser seleccionado de forma a que se disponha de quatro animais por amostragem. Se for exigido um rigor estatístico superior, deve dispor-se de mais peixes por amostragem.

Caso se utilizem peixes adultos, deve especificar-se o respectivo sexo. Caso se utilizem animais de ambos os sexos, as diferenças entre os respectivos teores de lípidos antes do início da exposição não devem ser significativas, podendo ser necessário reunir os machos e as fêmeas.

Em qualquer ensaio, seleccionam-se peixes de massa semelhante, de modo que a massa do mais leve não seja inferior a 2/3 da massa do mais pesado. Os peixes devem ser de mesma coorte (classe etária) e da mesma proveniência. Uma vez que a massa e a idade dos peixes parecem, por vezes, apresentar um efeito significativo nos valores do factor BCF (1), devem registar-se de forma precisa os pormenores em causa. Recomenda-se a pesagem de uma amostra do lote de peixes, de modo a calcular a massa média.

1.8.2.4. Introdução dos animais

Devem utilizar-se rácios elevados água/peixes, de modo a minimizar a redução de C_w determinada pela introdução dos peixes no início do ensaio, bem como do decréscimo da concentração do oxigénio dissolvido. A taxa de carga deve ser adequada às espécies utilizadas. Recomenda-se, em geral, uma taxa diária de 0,1 a 1,0 g de peixes (massa húmida) por litro de água. Caso a concentração requerida da substância em estudo não registe

uma variação superior a $\pm 20\%$ e a quantidade de oxigénio dissolvido não atinja valores inferiores a 60 % da concentração de saturação, podem utilizar-se taxas de carga mais elevadas.

Na selecção dos regimes de carga adequados deve ter-se em conta o habitat normal das espécies em causa. Por exemplo, as espécies bentónicas necessitam de aquários com maior área de base que as espécies pelágicas, para o mesmo volume de água.

1.8.2.5. Alimentação

Durante os períodos de aclimação e de ensaio, os peixes são alimentados com uma dieta adequada, de teor total de lípidos e de proteínas conhecido, numa quantidade suficiente para mantê-los em condições saudáveis e manter constante a respectiva massa corporal. Os animais são alimentados diariamente, sendo a quantidade de alimentos fornecida de ordem de 1 a 2 % da massa corporal/dia, o que permite manter a concentração de lípidos da maioria das espécies a níveis relativamente constantes, durante o ensaio. A quantidade de alimentos deve ser reavaliada com uma frequência, por exemplo, semanal, de modo a manter constantes a massa corporal e o teor de lípidos. Para tal, pode estimar-se a massa dos peixes de cada célula de ensaio com base na massa do peixe retirado mais recentemente da mesma. Não devem pesar-se os peixes que permanecem nas células.

Os alimentos remanescentes e as fezes são removidos diariamente das células de ensaio, 30 minutos a 1 hora após o fornecimento dos alimentos. As células devem manter-se tão limpas quanto possível ao longo do ensaio, de modo a que a concentração de matérias orgânicas seja mantida aos níveis mais reduzidos, uma vez que a presença de carbono orgânico pode limitar a biodisponibilidade da substância em estudo (1).

Uma vez que muitos alimentos contêm ingredientes à base de peixe, deve averiguar-se a ocorrência da substância em estudo nos mesmos. Deve também pesquisar-se a ocorrência de pesticidas e metais pesados nos alimentos.

1.8.2.6. Iluminação e temperatura

O período de irradiação é, em geral, de 12 a 16 horas, devendo a temperatura, cuja variação não deve exceder $\pm 2^\circ\text{C}$, ser adequada às espécies em estudo (ver apêndice 2). Deve especificar-se o tipo e as características da iluminação e atender-se à eventual fotólise da substância em estudo nas condições de irradiação do ensaio. Devem utilizar-se fontes de iluminação adequadas, de modo a evitar a exposição dos animais a produtos de fotólise não naturais. Em alguns casos, pode afigurar-se adequado utilizar um filtro que elimine as radiações ultravioletas de comprimento de onda inferior a 290 nm.

1.8.2.7. Concentrações de ensaio

Os peixes são expostos, em condições dinâmicas, a, pelo menos, duas concentrações da substância em estudo em água. Em geral, a concentração mais elevada deve ser da ordem de 1 % da concentração LC_{50} aguda assintótica e, pelo menos, dez vezes superior ao limite de detecção em água do método analítico utilizado.

A concentração mais elevada pode também ser calculada através do quociente de LC_{50} em 96 horas por um rácio concentração aguda/crónica (os rácios adequados a determinadas substâncias podem variar de 3 a 100). Sempre que possível, as restantes concentrações devem diferir da concentração mais elevada num factor de 10. Caso a aplicação dos critérios baseados no parâmetro LC_{50} e no limite de detecção não se afigure viável, pode utilizar-se um factor inferior a 10 ou, em alternativa, recorrer a uma substância marcada com ^{14}C . Não devem utilizar-se concentrações superiores à solubilidade da substância em estudo.

Caso se utilize um agente de solubilização, a respectiva concentração não deve exceder 0,1 ml/l, devendo ser idêntica em todos os recipientes. Deve conhecer-se a contribuição do referido agente, juntamente com a substância em estudo, por o teor de carbono orgânico total da água. Deve, contudo, evitar-se ao máximo a utilização de tais substâncias.

1.8.2.8. Controlos

Além das séries de ensaio, deve efectuar-se um controlo com água de diluição ou, se adequado, com o agente de solubilização, na condição de este último não apresentar efeitos negativos nos peixes. Caso contrário, devem efectuar-se ambos os controlos.

1.8.3. Frequência das determinações da qualidade da água

Durante o ensaio, devem determinar-se em todos os recipientes o oxigénio dissolvido, o carbono orgânico total, o pH e a temperatura. Além disso, devem determinar-se a dureza e, se for caso disso, a salinidade, das amostras de controlo e da água de um dos recipientes em que a concentração da substância em estudo seja mais elevada. O oxigénio dissolvido e, se for caso disso, a salinidade, devem ser determinados, no mínimo, três

vezes durante o período de fixação (no início, na fase intermédia e no final) e com uma frequência semanal no decurso da fase de depuração. O carbono orgânico total deve ser determinado no início do ensaio (48 h e 24 h antes do início), antes da colocação dos peixes nos recipientes e, pelo menos, uma vez por semana no decurso das fases de fixação e depuração. Deve determinar-se a temperatura diariamente, o pH no início e no final de cada período e a dureza uma vez em cada ensaio. Deve determinar-se a temperatura em contínuo pelo menos num dos recipientes.

1.8.4. *Amostragem e análise dos peixes e da água*

1.8.4.1. Calendário da recolha de amostras de peixes e de água

Devem recolher-se amostras de água para a determinação da concentração da substância em estudo antes da colocação dos peixes nos recipientes, bem como no decurso das fases de fixação e depuração. As amostras de água devem, no mínimo, ser recolhidas em simultâneo com os peixes e antes da alimentação. Durante a fase de fixação, as concentrações da substância em estudo são determinadas de modo a verificar o respeito dos critérios de validade.

Os peixes são recolhidos em, pelo menos, cinco ocasiões no decurso da fase de fixação e em, pelo menos, quatro ocasiões, durante a fase de depuração. Uma vez que, por vezes, se torna difícil efectuar uma estimativa razoavelmente precisa do factor BCF com base no número de amostras, em especial no caso de a depuração envolver processos que não apresentem uma cinética de primeira ordem, é aconselhável recolher amostras com uma frequência superior, em ambos os períodos (ver apêndice 4). As amostras suplementares são armazenadas, sendo apenas analisadas se os resultados da primeira série de determinações forem insuficientes para o cálculo do referido factor com a precisão desejada.

O apêndice 4 apresenta um exemplo de calendário de amostragem. Podem elaborar-se outros calendários mediante a utilização de outros valores do P_{ow} para o cálculo do tempo de exposição necessário a uma fixação de 95 %.

A amostragem deve prosseguir durante a fase de fixação até ser atingido o estado estacionário, num máximo de 28 dias. Caso o estado estacionário não seja atingido em 28 dias, a amostragem deverá prosseguir até um máximo de 60 dias. Antes do início da fase de depuração, os peixes são transferidos para células limpas.

1.8.4.2. Recolha e preparação das amostras

As amostras de água para análise são recolhidas, por exemplo, por bombagem através de tubos inertes, a partir de um ponto central na célula de ensaio. Uma vez que nem sempre se afigura possível separar as fracções não biodisponível e biodisponível da substância em estudo por filtração ou centrifugação (em especial no caso de substâncias superlipófilas, isto é, substâncias com $\log P_{ow} > 5$) (1) (5).

As amostras não devem ser sujeitas a tais processos, devendo adoptar-se medidas para manter as células tão limpas quanto possível e determinar-se o teor de carbono orgânico em ambas as fases (fixação e depuração).

Em cada amostragem, recolhe-se um número adequado de peixes (de modo geral, igual ou superior a 4) das células de ensaio. Os animais em causa são lavados rapidamente com água, secos, mortos instantaneamente, por recurso a métodos humanos, e pesados.

É aconselhável analisar os peixes e a água imediatamente após a recolha das amostras, de modo a evitar eventuais efeitos, nomeadamente devidos à degradação, calculando as taxas de fixação e depuração aproximadas em função do avanço do ensaio. A análise imediata permite também identificar prontamente o início de uma fase estacionária.

Caso não se proceda à análise imediata, as amostras são armazenadas de acordo com um método adequado. Antes do início do ensaio, devem obter-se dados relativos à armazenagem adequada da substância em estudo, nomeadamente por ultracongelamento, manutenção a 4°C, extração, etc., bem como à duração da mesma.

1.8.4.3. Qualidade do método analítico

Uma vez que o processo global é determinado essencialmente pela exactidão, precisão e sensibilidade do método analítico utilizado, deve comprovar-se experimentalmente a adequação ao mesmo da precisão e reprodutibilidade deste último, bem como do método de recolha da substância em estudo a partir da água e dos peixes, ao referido método. Deve também comprovar-se a não detectabilidade da substância em estudo na água de diluição.

Se necessário, os valores de C_w e C_f obtidos no ensaio são corrigidos de modo a ter em conta as recuperações e as concentrações de fundo dos controlos. As amostras de peixes e de água devem ser manipuladas de modo a minimizar contaminações e perdas, resultantes, nomeadamente, da adsorção pelos equipamentos de amostragem.

1.8.4.4. Análise das amostras de peixes

Caso se utilizem radiomarcadores, pode determinar-se a radioactividade total (isto é, da substância de origem e dos seus metabolitos) ou, como alternativa, tratar as amostras de modo a que a substância de origem seja analisada separadamente. Além disso, os principais metabolitos podem ser caracterizados no estado estacionário ou no final da fase de fixação, consoante o que ocorrer primeiro. Se o factor BCF calculado com base nos resíduos radioactivos totais for igual ou superior a 1 000 %, pode ser aconselhável e mesmo, no caso de determinadas categorias de substâncias, tais como os pesticidas, fortemente recomendável, identificar e quantificar os produtos de degradação que representem 10 % ou mais da totalidade dos resíduos nos tecidos dos peixes, no estado estacionário. Caso se identifiquem e quantifiquem os produtos de degradação que representam 10 % ou mais dos resíduos totais marcados com radioisótopos nos tecidos dos peixes, recomenda-se também a identificação e quantificação dos produtos de degradação na água do ensaio.

Em geral, deve determinar-se a concentração da substância em estudo para cada peixe pesado. Se tal não for possível, podem combinar-se as amostras em cada amostragem, sem prejuízo do tratamento estatístico dos dados. Caso a especificidade e o rigor do método estatístico sejam importantes, deve utilizar-se no ensaio um número adequado de peixes, de modo a adaptar o procedimento de combinação ao rigor do método (6) (7).

O factor BCF deve ser expresso em função da massa húmida total e, no caso de substâncias altamente lipófilas, em função também do teor de lípidos. O teor de lípidos dos peixes deve ser determinado, se possível, em cada amostragem, devendo, para tal, utilizar-se métodos adequados (ver os pontos 8 e 2 do apêndice 3). Como método-padrão, pode recomendar-se a extracção com clorofórmio/metanol (9). A aplicação de métodos diversos não conduz a resultados idênticos (10), pelo que devem fornecer-se pormenores sobre o método utilizado. Sempre que possível, deve efectuar-se a determinação dos lípidos no extracto utilizado para a análise da substância em estudo, uma vez que, com frequência, é necessário remover os mesmos do extracto antes da análise cromatográfica deste último. O teor de lípidos dos peixes no final da experiência, expresso em mg/kg, não deve diferir do teor inicial em mais de 25 %. Deve também referir-se a percentagem de matéria seca nos tecidos, de modo a permitir converter o teor de lípidos em relação à massa húmida no teor relativo à massa seca.

2. RESULTADOS

2.1. TRATAMENTO DOS RESULTADOS

A curva de fixação da substância em estudo é obtida através da representação gráfica da respectiva concentração nos peixes ou em determinados tecidos dos mesmos na fase de fixação, em função do tempo, numa escala aritmética. Quando se observar o início do estado estacionário, isto é, quando a curva se tornar aproximadamente assintótica relativamente ao eixo dos tempos, calcula-se o factor BCF_{ss} do seguinte modo:

$$\frac{C_f \text{ no estado estacionário (média)}}{C_w \text{ no estado estacionário (média)}}$$

Se não for atingido o estado estacionário, pode calcular-se um factor BCF_{ss} suficientemente preciso para a avaliação dos riscos assumindo um estado estacionário «virtual», a 80 % ($1,6/k_2$) ou 95 % ($3,0/k_2$) do equilíbrio.

O factor de concentração (BCF_k) consiste no quociente das constantes cinéticas de primeira ordem, k_1/k_2 . De modo geral, a constante de velocidade de depuração (k_2) é determinada com base na curva de depuração (representação gráfica do decréscimo da concentração da substância em estudo nos peixes em função do tempo), calculando-se a constante de velocidade de fixação (k_1) com base em k_2 e num valor de C_f obtido da curva de fixação (ver também o apêndice 5). O método mais aconselhável para obter o factor BCF_k e as constantes k_1 e k_2 consiste no recurso a métodos computacionais de estimativa não linear de parâmetros (11). Caso contrário, podem utilizar-se métodos gráficos para o cálculo das constantes cinéticas. Se a curva de depuração revelar de modo inequívoco que o processo não segue uma cinética de primeira ordem, há que recorrer a modelos mais complexos (ver referências no apêndice 3), procurando a orientação de um perito em bioestatística.

2.2. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Sempre que as concentrações das soluções de ensaio sejam próximas do limite de detecção do método analítico utilizado, os resultados devem ser interpretados com precaução.

A obtenção de curvas de fixação e de depuração bem definidas constitui um indicador da qualidade dos dados relativos à bioconcentração. A variação das velocidades de fixação e depuração obtidas com ambas as concentrações de ensaio deve ser inferior a 20 %, devendo registar-se e tentar explicar-se a ocorrência de variações significativas das referidas velocidades. O intervalo de confiança dos valores de BCF obtidos em estudos adequados é, em geral, da ordem de ± 20 %.

3. RELATÓRIO

O relatório do ensaio deverá incluir as seguintes informações:

3.1. SUBSTÂNCIA EM ESTUDO

- natureza física e, se adequado, propriedades físico-químicas,
- dados decorrentes de análise química (incluindo o teor de carbono orgânico, se adequado),
- no caso da utilização de radiomarcadores, posição do(s) átomo(s) substituído(s) e percentagem de radioactividade associada às impurezas.

3.2. ESPÉCIES ANIMAIS UTILIZADAS

- denominação científica, variedade, origem, pré-tratamento eventual, aclimação, idade, gama de dimensões, etc.

3.3. CONDIÇÕES DE ENSAIO

- tipo de procedimento utilizado (ensaio dinâmico ou semiestático),
- tipo e características da iluminação utilizada e respectivo período,
- concepção do ensaio (número e dimensões das células de ensaio, taxa de renovação do volume de água, número de replicados, números de peixes por replicado, número de concentrações de ensaio, duração das fases de fixação e depuração, frequência de amostragem de peixes e de água),
- método de preparação das soluções-mãe e frequência de renovação (caso se utilize um agente de solubilização, deve fornecer-se a respectiva concentração, bem como a contribuição do mesmo para o teor de carbono orgânico da água),
- concentrações de ensaio nominais, média e desvio-padrão dos valores determinados e método de obtenção dos mesmos,
- fonte de água de diluição, descrição do eventual pré-tratamento desta última, resultados de quaisquer ensaios destinados a comprovar a adequação da água aos peixes e características da água: pH, dureza, temperatura, concentração de oxigénio dissolvido, cloro residual (se determinado), carbono orgânico total, sólidos em suspensão, salinidade (se adequado) e quaisquer outras determinações efectuadas,
- qualidade da água nos recipientes de ensaio (pH, dureza, carbono orgânico total, temperatura e concentração de oxigénio dissolvido),
- informações pormenorizadas sobre a alimentação dos animais (por exemplo, tipo de alimentos, origem e composição dos mesmos — se possível, apresentar, pelo menos, o respectivo teor de lípidos e proteínas —, quantidade fornecida e frequência),
- informações sobre o tratamento das amostras de peixes e de água, incluindo pormenores relativos à preparação, armazenagem e extracção, bem como métodos analíticos aplicados à substância em estudo e à eventual determinação do teor de lípidos, incluindo a respectiva precisão.

3.4. RESULTADOS

- resultados de quaisquer estudos preliminares efectuados,
- mortalidade dos peixes do lote de controlo e dos peixes expostos à substância, bem como qualquer comportamento anormal observável,
- teor de lípidos dos peixes (se determinado no decurso do ensaio),
- curvas de fixação e de depuração da substância em estudo pelos peixes, exibindo os valores determinados e incluindo o intervalo de surgimento do estado estacionário,
- concentrações C_f e C_w (incluindo os respectivos desvios-padrão e gama, se adequado) para todos os períodos de amostragem. Deve exprimir-se a concentração C_f em $\mu\text{g/g}$ (ppm) de massa húmida do animal na sua totalidade ou de determinados tecidos do mesmo, nomeadamente tecidos ricos em lípidos; o valor C_w é expresso em $\mu\text{g/ml}$ (ppm). Devem também apresentar-se os valores de C_w relativos às séries de controlo, bem como as concentrações de fundo,
- factor de bioconcentração no estado estacionário (BCF_{ss}), e/ou factor de concentração cinético (BCF_k), bem como, se for caso disso, os intervalos de confiança (95 %) das constantes de velocidade de fixação e depuração (expressos em relação à massa húmida dos peixes e ao teor total de lípidos, se determinado, dos animais ou de determinados tecidos dos mesmos), intervalos de confiança e desvio-padrão (se disponíveis). Devem também referir-se os métodos computacionais e/ou de análise de dados aplicados a cada concentração da substância em estudo,
- caso se utilizem radiomarcadores, pode, se necessário, apresentar-se a acumulação de quaisquer metabolitos detectados,
- devem referir-se quaisquer ocorrências especiais registadas no decurso do ensaio, bem como quaisquer desvios relativamente ao procedimento ou outras informações de relevo.

O número de resultados classificados de «não detectados no limite de detecção» deve ser minimizado mediante o desenvolvimento de um método e de um protocolo experimental preliminares; os referidos resultados não podem ser utilizados para o cálculo das constantes de velocidade.

4. REFERÊNCIAS

- (1) Connell D.W. (1988). Bioaccumulation behaviour of persistent chemicals with aquatic organisms. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 102, p. 117-156.
- (2) Bintein S., Devillers, J. and Karcher W. (1993). Nonlinear dependence of fish bioconcentration on *n*-octanol/water partition coefficient. *SAR and QSAR in Environmental Research*, 1, p. 29-390.
- (3) OECD, Paris (1996). Direct Phototransformation of Chemicals in Water. *Environmental Health and Safety Guidance Document Series on Testing and Assessment of Chemicals*. No 3.
- (4) Kristensen P. (1991). Bioconcentration in fish: Comparison of bioconcentration factors derived from OECD and ASTM testing methods; influence of particulate organic matter to the bioavailability of chemicals. Water Quality Institute, Denmark.
- (5) US EPA 822-R-94-002 (1994). Great Lake Water Quality Initiative Technical Support Doc. for the Procedure to Determine Bioaccumulation Factors. July 1994.
- (6) US FDA, (Food and Drug Administration) Revision. Pesticide analytical manual, 1, 5600 Fisher's Lane, Rockville, MD 20852, July 1975.
- (7) US EPA (1974). Section 5, A(l). Analysis of Human Adipose Tissue, in *Analysis of Pesticide Residues in Human and Environmental Samples*, Thompson J.F. (ed.) Research Triangle Park, N.C. 27711.

-
- (8) Compaan H. (1980). in «The determination of the possible effects of chemicals and wastes on the aquatic environment: degradation, toxicity, bioaccumulation». Ch. 2.3, Part II. Government Publisshing Office, the Hague, The Netherlands.
 - (9) Gardner *et al.*, (1995). Limn. & Oceanogr. 30, p. 1099-1105.
 - (10) Randall R.C., Lee H., Ozretich R.J., Lake J.L. and Pruell R.J. (1991). Evaluation of selected lipid methods for normalising pollutant bioaccumulation. Envir. Toxicol. Chem. 10, p. 1431-1436.
 - (11) CEC, Bioconcentration of chemical substances in fish: the flow-through method-Ring Test Programme, 1984-1985. Final report March 1987. Authors: P. Kristensen and N. Nyholm.
 - (12) ASTM E-1022-84 (Reapproved 1988). Standard Practice for conducting Bioconcentration Tests with Fishes and Saltwater Bivalve Molluscs.

Apêndice 1

Características químicas de uma água de diluição adequada

	Substância	Concentração limite
1	Teor de partículas	5 mg/l
2	Carbono orgânico total	2 mg/l
3	Amoníaco não ionizado	1 µg/l
4	Cloro residual	10 µg/l
5	Pesticidas organofosforados totais	50 ng/l
6	Pesticidas organoclorados totais e bifenilos policlorados	50 ng/l
7	Cloro orgânico total	25 ng/l
8	Alumínio	1 µg/l
9	Arsénio	1 µg/l
10	Crómio	1 µg/l
11	Cobalto	1 µg/l
12	Cobre	1 µg/l
13	Ferro	1 µg/l
14	Chumbo	1 µg/l
15	Níquel	1 µg/l
16	Zinco	1 µg/l
17	Cádmio	100 ng/l
18	Mercúrio	100 ng/l
19	Prata	100 ng/l

Apêndice 2

Espécies recomendadas para o ensaio

	Espécies recomendadas	Gama de temperaturas de ensaio recomendadas (°C)	Comprimento recomendado dos animais de ensaio (cm)
1	<i>Danio rerio</i> ⁽¹⁾ (Teleostei, Cyprinidae) (Hamilton-Buchanan)	20-25	3,0 ± 0,5
2	<i>Pimephales promelas</i> (Teleostei, Cyprinidae) (Rafinesque)	20-25	5,0 ± 2,0
3	<i>Cyprinus carpio</i> (Teleostei, Cyprinidae) (Linnaeus)	20-25	5,0 ± 3,0
4	<i>Oryzias latipes</i> (Teleostei, Poeciliidae) (Temminck and Schlegel)	20-25	4,0 ± 1,0
5	<i>Poecilia reticulata</i> (Teleostei, Poeciliidae) (Peters)	20-25	3,0 ± 1,0
6	<i>Lepomis macrochirus</i> (Teleostei, Centrarchidae) (Rafinesque) Bluegill	20-25	5,0 ± 2,0
7	<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Teleostei, Salmonidae) (Walbaum)	13-17	8,0 ± 4,0
8	<i>Gasterosteus aculeatus</i> (Teleostei, Gasterosteidae) (Linnaeus)	18-20	3,0 ± 1,0

⁽¹⁾ Meyer A., Orti G. (1993). Proc. Royal Society of London, Series B., Vol. 252, p. 231.

Diversas espécies estuarinas e marinhas foram utilizadas em países diferentes, nomeadamente:

Leiostomus xanthurus
Cyprinodon variegatus
Menidia beryllina
Cymatogaster aggregata
Parophrys vetulus
Leptocottus armatus
Gasterosteus aculeatus
Dicentrarchus labrax
Alburnus alburnus.

Obtenção dos peixes

Os peixes de água doce referidos no quadro supra são de fácil reprodução, encontrando-se disponíveis todo o ano, enquanto que a disponibilidade de algumas das espécies marinhas e estuarinas se encontra limitada a determinados países. Os peixes de água doce podem ser criados em explorações piscícolas ou no laboratório, em condições controladas no que respeita a doenças e parasitas, de modo a produzir animais saudáveis com uma linha parental conhecida. Estas espécies encontram-se disponíveis em várias partes do mundo.

Apêndice 3

Previsão da duração das fases de fixação e depuração1. *Estimativa da duração da fase de fixação*

Antes de realizar o ensaio, pode obter-se uma estimativa de k_2 e, consequentemente, do tempo necessário para atingir o estado estacionário, com base em relações empíricas entre k_2 e o coeficiente de partição n-octanol/água (P_{ow}) ou entre k_2 e a solubilidade em água(s).

A relação empírica que se segue permite obter, nomeadamente, uma estimativa de k_2 (expressa em dias⁻¹) (1):

$$\log_{10} k_2 = 0,414 \log_{10}(P_{ow}) + 1,47 \quad (r^2 = 0,95) \quad (\text{equação 1})$$

A referência (2) inclui outras equações.

Caso o coeficiente de partição (P_{ow}) não seja conhecido, pode obter-se uma estimativa (3) com base na solubilidade em água da substância em estudo:

$$\log_{10}(P_{ow}) = 0,862 \log_{10}(s) + 0,710 \quad (r^2 = 0,994) \quad (\text{equação 2})$$

em que

s = solubilidade (moles/l): ($n = 36$).

As equações apenas são aplicáveis a substâncias com valores de $\log P_{ow}$ compreendidos entre 2 e 6,5 (4).

Pode obter-se o tempo necessário para atingir uma determinada percentagem do estado estacionário a partir do valor de k_2 estimado, com base na equação cinética que descreve a fixação e a depuração (assumindo uma cinética de primeira ordem):

$$\frac{dC_f}{dt} = k_1 \cdot C_w - k_2 \cdot C_f$$

ou, para C_w constante:

$$C_f = \frac{k_1}{k_2} \cdot C_w (1 - e^{-k_2 t}) \quad (\text{equação 3})$$

Na vizinhança do estado estacionário ($t \rightarrow \infty$), a equação 3 pode reduzir-se a (5) (6):

$$C_f = \frac{k_1}{k_2} \cdot C_w \text{ ou } C_f/C_w = k_1/k_2 = BCF$$

O valor $k_1/k_2 \cdot C_w$ constitui uma estimativa da concentração nos peixes no estado estacionário «virtual» (C_{fs}).

A equação 3 pode transformar-se em:

$$C_f = C_{fs} (1 - e^{-k_2 t}) \text{ or } \frac{C_f}{C_{fs}} = 1 - e^{-k_2 t} \quad (\text{equação 4})$$

Aplicando a equação 4, pode prever-se o tempo necessário para atingir uma determinada percentagem do estado estacionário, utilizando o valor de k_2 determinado por intermédio da equação 1 ou 2.

Do ponto de vista estatístico, a duração óptima da fase de fixação para a obtenção de dados estatísticos fiáveis (BCF_k) consiste no período necessário para que a curva decorrente da representação gráfica do logaritmo da concentração da substância em estudo nos peixes em função do tempo, numa escala aritmética, atinja o ponto médio, ou $1,6/k_2$, ou 80 % do estado estacionário, mas não mais de $3,0/k_2$, ou 95 % do estado estacionário (7).

O tempo necessário para atingir 80 % do estado estacionário é dado por (equação 4):

$$0,80 = 1 - e^{-k_2 t_{80}} \text{ or } t_{80} = \frac{1,6}{k_2} \quad (\text{equação 5})$$

Do mesmo modo, o tempo necessário para atingir 95 % do estado estacionário é dado por:

$$t_{95} = \frac{3,0}{k_2} \quad (\text{equação 6})$$

Por exemplo, a duração da fase de fixação (up) de uma substância com $\log P_{ow} = 4$, é calculada do seguinte modo, por recurso às equações 1, 5 e 6:

$$\log_{10} k_2 = -0,414 \cdot (4) + 1,47 \quad k_2 = 0,652 \text{ dias}$$

$$\text{up (80 \%)} = 1,6/0,652, \text{ ou seja, } 2,45 \text{ dias (59 horas)}$$

$$\text{ou up (95 \%)} = 3,0/0,652, \text{ ou seja, } 4,60 \text{ dias (110 horas)}$$

Do mesmo modo, a duração da fase de fixação de uma substância com $s = 10^{-5} \text{ mal/l}$ [$\log(s) = -5,0$], é calculada por recurso às equações 1, 2, 5 e 6:

$$\log_{10} (P_{ow}) = -0,862 \cdot (-5,0) + 0,710 = 5,02$$

$$\log_{10} k_2 = -0,414 \cdot (5,02) + 1,47$$

$$k_2 = 0,246 \text{ dias}^{-1}$$

$$\text{up (80 \%)} = 1,6/0,246, \text{ ou seja, } 6,5 \text{ dias (156 horas)}$$

$$\text{ou up (95 \%)} = 3,0/0,246, \text{ ou seja, } 12,2 \text{ dias (293 horas)}$$

Como alternativa,

$$t_{eq} = 6,54 \times 10^3 P_{ow} + 55,31 \text{ (horas)}$$

pode utilizar-se a expressão seguinte para o cálculo do tempo necessário para atingir o estado estacionário real (4):

2. Estimativa da duração da fase de depuração

Com base na equação geral que descreve a fixação e a depuração de acordo com uma cinética de primeira ordem, pode obter-se uma estimativa do tempo necessário para reduzir a carga corporal de uma determinada percentagem da concentração inicial (1) (8).

Na fase de depuração, a concentração C_w deve ser nula, pelo que a equação pode reduzir-se a:

$$\frac{dC_f}{dt} = -k_2 C_f \text{ or } C_f = C_{f,0} \cdot e^{-k_2 t}$$

em que $C_{f,0}$ representa a concentração no início do período de depuração. O tempo necessário para atingir 50 % da depuração (t_{50}) é dado por:

$$\frac{C_f}{C_{f,0}} = \frac{1}{2} = e^{-k_2 t_{50}} \text{ or } t_{50} = \frac{0,693}{k_2}$$

Do mesmo modo, o tempo necessário para atingir 95 % de depuração será:

$$t_{95} = \frac{3,0}{k_2}$$

Caso se utilize um valor correspondente a 80 % da fixação no primeiro período ($1,6/k_2$) e a 95 % da depuração na fase respectiva ($3,0/k_2$), a duração da fase de depuração é aproximadamente dupla da duração da fase de fixação.

Deve sublinhar-se, todavia, que as estimativas em causa apenas são válidas para perfis de fixação e depuração que sigam uma cinética de primeira ordem. Caso se demonstre que tal não sucede, deve recorrer-se a modelos mais complexos [por exemplo, referência (1)].

Referências

- (1) Spacie A. and Hamelink J.L. (1982). Alternative models for describing the bioconcentration of organics in fish. *Environ. Toxicol. and Chem.* 1, p. 309-320.
- (2) Kristensen P. (1991). Bioconcentration in fish: comparison of BCFs derived from OECD and ASTM testing methods; influence of particulate matter to the bioavailability of chemicals. Danish Water Quality Institute.
- (3) Chiou C.T. and Schmedding D.W. (1982). Partitioning of organic compounds in octanol-water systems. *Environ: Sci. Technol.* 16 (1), p. 4-10.
- (4) Hawker D.W. and Connell D.W. (1988). Influence of partition coefficient of lipophilic compounds on bioconcentration kinetics with fish. *Wat. Res.* 22 (6), p. 701-707.
- (5) Branson D.R., Blau G.E., Alexander H.C. and Neely W.B. (1975). *Transactions of the American Fisheries Society*, 104 (4), p. 785-792.
- (6) Ernst W. (1985). Accumulation in Aquatic Organisms. In: *Appraisal of tests to predict the environmental behaviour of chemicals*. Ed. by Sheehman P., Korte F., Klein W. and Bourdeau P.H., Part 4.4, p. 243-255. SCOPE, 1985, John Wiley & Sons Ltd, New York.
- (7) Reilly P.M., Bajramovic R., Blau G.E., Branson D.R. and Sauerhoff M.W. (1977), Guidelines for the optimal design of experiments to estimate parameters in first order kinetic models, *Can. J. Chem. Eng.* 55, p. 614-622.
- (8) Könemann H. and Van Leeuwen K. (1980). Toxicokinetics in fish: Accumulation and Elimination of Six Chlorobenzenes by Guppies. *Chemosphere*, 9, p. 3-19.

Apêndice 4

Exemplo de calendário de amostragem aplicável aos ensaios de bioconcentração de substâncias com $\log P_{ow} = 4$

Recolha de amostras de peixes	Calendário de amostragem		Número de amostras adicionais	Número de peixes por amostra
	Frequência mínima necessária (dias)	Recolha de amostras adicionais		
Fase de fixação	- 1 0		2 (*) 2	45-80 peixes
1. ^a	0,3	0,4	2 (2)	4 (4)
2. ^a	0,6	0,9	2 (2)	4 (4)
3. ^a	1,2	1,7	2 (2)	4 (4)
4. ^a	2,4	3,3	2 (2)	4 (4)
5. ^a	4,7		2	6
Fase de depuração				Transferência dos peixes para uma célula com água isenta da substância em estudo
6. ^a	5,0	5,3		4 (4)
7. ^a	5,9	7,0		4 (4)
8. ^a	9,3	11,2		4 (4)
9. ^a	14,0	17,5		6 (4)

(*) Recolher as amostras de água após, pelo menos, três renovações do volume da célula.

Os valores entre parêntesis correspondem ao número de amostras de água e de peixes a recolher caso se proceda a uma amostragem suplementar.

Nota.: O valor estimado de k_2 para $\log P_{ow} = 4,0$ é de $0,652 \text{ dias}^{-1}$. A duração total do ensaio é dada por: $3 \times \text{up} = 3 \times 4,6 \text{ dias} = 14 \text{ dias}$. Para o cálculo do factor «up», consultar o apêndice 3.

Apêndice 5

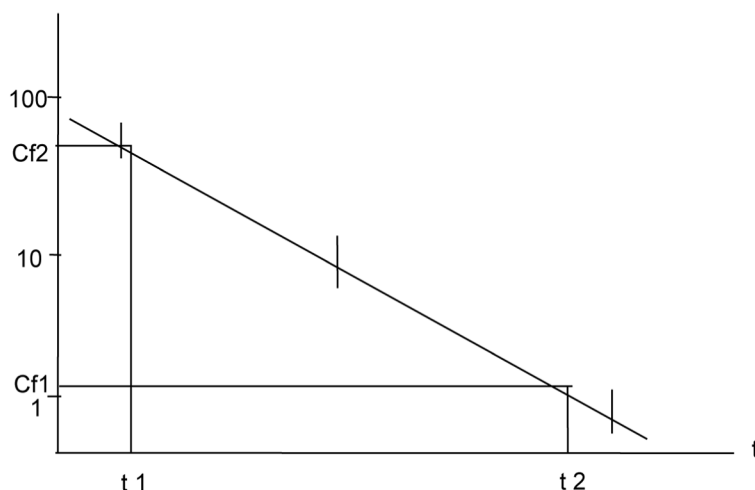
Descrição do modelo

Considera-se que a maioria dos dados referentes à bioconcentração são razoavelmente descritos por recurso a um modelo simples do tipo «dois compartimentos/dois parâmetros», baseado na linearidade da curva obtida na representação gráfica em papel semilogarítmico das concentrações nos peixes durante a fase de depuração em função do tempo. Caso não se obtenha uma curva linear, devem utilizar-se processos mais complexos, nomeadamente o processo descrito por Spacie e Hamelink (referência 1 do apêndice 3).

Método gráfico para a determinação da constante de velocidade de depuração, k_2

Representar graficamente, em papel semilogarítmico, a concentração da substância em estudo nas diversas amostras de peixe em função dos tempos de amostragem. O declive da curva obtida fornece o valor de k_2 .

$$k_2 = \frac{\ln (C_{f1}/C_{f2})}{t_2 - t_1}$$



Deve sublinhar-se que quaisquer eventuais desvios à linearidade podem constituir indicação de um perfil de depuração mais complexo que o descrito por uma cinética de primeira ordem, podendo também aplicar-se métodos gráficos no caso de processos de depuração que não exibam uma cinética de primeira ordem.

Método gráfico para a determinação da constante de velocidade de fixação, k_1

Conhecida a constante k_2 calcular k_1 do seguinte modo:

$$k_1 = \frac{C_f k_2}{C_w \times (1 - e^{-k_2 t})} \quad \text{equação 1}$$

O valor de C_f é obtido a partir do ponto médio da curva de fixação obtida na representação gráfica do logaritmo da concentração em função do tempo.

Método computacional para o cálculo das constantes de velocidade de fixação e de depuração

O processo mais adequado para obter o factor de bioconcentração, bem como as constantes k_1 e k_2 , consiste no recurso a métodos computacionais de estimativa não linear. Os programas utilizados permitem obter valores para k_1 e k_2 a partir de uma série sequencial de dados tempo/concentração, aplicando o seguinte modelo teórico:

$$C_f = C_w \cdot \frac{k_1}{k_2} \times (1 - e^{-k_2 t}) \quad 0 < t < t_c \quad \text{equação 2}$$

$$C_f = C_w \cdot \frac{k_1}{k_2} \times (e^{-k_2(t-t_c)} - e^{-k_2t}) \quad t > t_c \quad \text{equação 3}$$

em que t_c = tempo decorrido até ao final da fase de fixação.

A abordagem em causa permite obter uma estimativa de k_1 e k_2 com base no desvio-padrão.

Uma vez que, na maioria dos casos, a constante k_2 pode ser estimada a partir da curva de depuração com uma precisão relativamente elevada, determinando-se em simultâneo a forte correlação existente entre os parâmetros k_1 e k_2 , pode ser aconselhável começar por calcular k_2 apenas com base nos dados de depuração, calculando posteriormente k_1 a partir dos dados de fixação, por recurso a um método de regressão não linear.

C.14. ENSAIO DE CRESCIMENTO JUVENIL EM PEIXES

1. MÉTODO

O presente método de ensaio de toxicidade no crescimento baseia-se na publicação OECD TG 215 (2000) (normas de ensaio da OCDE).

1.1. INTRODUÇÃO

O presente ensaio, concebido para avaliar os efeitos da exposição prolongada a substâncias químicas no crescimento de peixes juvenis, baseia-se num método desenvolvido e testado na União Europeia através de um ensaio interlaboratorial (1) (3) e destinado a determinar os efeitos de substâncias químicas no crescimento de juvenis de truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) em condições de escoamento. Podem usar-se para ensaio outras espécies relativamente às quais existam obras de referência. As publicações sobre ensaios de crescimento em peixe-zebra (*Danio rerio*) (2) (4) (5) e em peixinho dos arrozais (*Oryzias latipes*) (6) (7) (8), por exemplo, contêm informações úteis para este tipo de estudos.

Ver também a introdução geral, parte C.

1.2. DEFINIÇÕES

Menor concentração com efeito observável (MCCEO): é a menor concentração de ensaio da substância a ensaiar para a qual se observa um efeito significativo ($p < 0,05$) quando comparado com o controlo. No entanto, todas as concentrações de ensaio superiores à MCCEO devem ter um efeito prejudicial igual ou superior ao verificado com a MCCEO.

Concentração sem efeito observável (CSEO): é a concentração de ensaio cujo valor se situa imediatamente abaixo do valor da MCCEO.

EC_x no presente método de ensaio, é a concentração da substância de ensaio que causa uma variação de x % na taxa de crescimento dos peixes relativamente aos controlos.

Taxa de carga: é o peso fresco de peixe por volume de água.

Densidade de ocupação: é o número de peixes por volume de água.

Taxa específica de crescimento individual de um peixe: expressa a taxa de crescimento de um indivíduo relativamente ao seu peso inicial.

Taxa específica média de crescimento de um tanque: expressa a taxa média de crescimento da população de um tanque para uma dada concentração da substância de ensaio.

Taxa de crescimento pseudo-específica: expressa a taxa de crescimento individual relativamente ao valor médio do peso inicial da população do tanque.

1.3. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Os peixes juvenis em fase exponencial de crescimento são pesados, colocados em câmaras de ensaio e expostos a uma gama de concentrações subletais da substância de ensaio dissolvida em água. O ensaio deverá realizar-se preferencialmente em condições de escoamento; se tal não for possível, poderão usar-se condições semiestáticas (estático — renovação) apropriadas. A duração do ensaio é de 28 dias. Os peixes são alimentados diariamente. A quantidade de alimento fornecido aos peixes é calculada com base no seu peso inicial e pode ser reavaliada decorridos 14 dias de ensaio. No final do ensaio, os peixes são pesados novamente. Os efeitos nas taxas de crescimento são analisados por meio de um modelo de regressão, de forma a estimar a concentração que provocaria uma variação de x % na taxa de crescimento, ou seja, CEx (por exemplo, CE10, CE20 ou CE30). Em alternativa, os dados podem ser comparados com valores de controlo, de modo a determinar a menor concentração com efeito observável (MCCEO) e, a partir desse valor, a concentração sem efeito observável (CSEO).

1.4. INFORMAÇÃO SOBRE A SUBSTÂNCIA DE ENSAIO

Deverão estar disponíveis resultados de um ensaio de toxicidade aguda (ver método de ensaio C.1.) realizado de preferência com a espécie escolhida para este ensaio, o que implica que a solubilidade em água e a pressão de vapor da substância de ensaio são conhecidas, e que existe um método analítico fiável para a quantificação da substância nas soluções a ensaiar, relativamente ao qual a exactidão e o limite de detecção são conhecidos e se encontram descritos.

A fórmula estrutural, o grau de pureza, a estabilidade em água, a estabilidade à luz, os valores de pK_a e P_{ow} e os resultados de um ensaio de biodegradabilidade «fácil» da substância de ensaio constituem informações úteis (ver método de ensaio C.4).

1.5. VALIDADE DO ENSAIO

Um ensaio é considerado válido quando são cumpridas as seguintes condições:

- no(s) controlo(s), a mortalidade no final do ensaio não deverá ser superior a 10 %,
- o aumento do peso médio dos peixes no(s) controlo(s) deverá ser suficiente para permitir a detecção da mínima variação da taxa de crescimento considerada significativa. Os resultados de um ensaio interlaboratorial (3) demonstraram que, para a truta arco-íris, o peso médio dos peixes nos controlos deve sofrer, ao longo de 28 dias, um aumento que seja, no mínimo, equivalente a metade (isto é, a 50 %) do seu peso médio inicial; por exemplo, peso inicial: 1 g/peixe (= 100 %), peso final após 28 dias: $\geq 1,5$ g/peixe (≥ 150 %),
- a concentração do oxigénio dissolvido deve ser igual ou superior a 60 % do valor da saturação com ar (VSA) ao longo de todo o ensaio,
- a variação da temperatura da água não deve ser superior a $\pm 1^\circ\text{C}$ entre as diferentes câmaras de ensaio em qualquer momento do ensaio nem deverá ultrapassar um intervalo de 2°C dentro das gamas de temperatura especificadas para as espécies a ensaiar (apêndice 1).

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.6.1. Equipamento

Equipamento normal de laboratório e, mais especificamente, o seguinte:

- a) Medidores de oxigénio e de pH;
- b) Equipamento para determinação da dureza e alcalinidade da água;
- c) Aparelhos apropriados para o controlo da temperatura e que permitam, de preferência, a sua monitorização contínua;
- d) Tanques construídos com um material quimicamente inerte e de capacidade adequada à carga e à densidade de ocupação recomendadas (ver ponto 1.8.5 e apêndice 1);
- e) Balança de precisão apropriada (isto é, com uma exactidão de $\pm 0,5$ %).

1.6.2. Água

Qualquer água que sustente a sobrevivência e o crescimento adequados a longo prazo, da espécie em ensaio, poderá ser utilizada como água de ensaio. A qualidade da água deve ser mantida constante durante o ensaio. Os valores de pH devem situar-se entre 6,5 e 8,5, não devendo, num dado ensaio, sofrer variações superiores a $\pm 0,5$ pH unidades. Recomenda-se uma dureza superior a 140 mg/l (expressos em CaCO_3). Para assegurar que a água de diluição não influencie indevidamente o resultado do ensaio (por complexação da substância de ensaio, por exemplo), deverão ser regularmente retiradas amostras para análise. Devem efectuar-se medições de metais pesados (por exemplo, Cu, Pb, Zn, Hg, Cd e Ni), principais aniões e catiões (por exemplo, Ca, Mg, Na, K, Cl e SO_4), pesticidas (por exemplo, pesticidas organofosforados totais e organoclorados totais), carbono orgânico total e sólidos em suspensão. Nos casos em que se sabe que a água de diluição mantém uma qualidade relativamente constante, estas medições deverão ser efectuadas, por exemplo, de três em três meses. Caso se demonstre que a qualidade da água se mantém inalterada durante, pelo menos, um ano, as determinações podem ser menos frequentes (de seis em seis meses, por exemplo). No apêndice 2 apresentam-se algumas características químicas de uma água de diluição aceitável.

1.6.3. Soluções de ensaio

As soluções de ensaio com as concentrações escolhidas são preparadas por diluição de uma solução de reserva.

A solução de reserva deve ser preparada, preferencialmente, apenas por mistura ou agitação da substância de ensaio na água de diluição, utilizando meios mecânicos (agitação ou dispersão ultra-sónica, por exemplo). Podem ser utilizadas colunas de saturação (colunas de solubilidade) para obter uma solução de reserva concentrada adequada.

Em alguns casos, pode ser necessário utilizar solventes ou dispersantes (agentes solubilizantes) para produzir uma solução de reserva com a concentração adequada. A acetona, o etanol, o metanol, o dimetilsulfóxido, a dimetilformamida e o trietilenoglicol são exemplos de solventes adequados. Dispersantes adequados são, por exemplo, o Cremofor RH40, o Tween 80, a metilcelulose a 0,01 % e o HCO-40. Deve ter-se cuidado ao utilizar agentes facilmente biodegradáveis (como a acetona, por exemplo) e/ou compostos altamente voláteis, uma vez que estes podem causar problemas relacionados com o desenvolvimento de bactérias nos ensaios em que for utilizado o método de escoamento. Quando se utiliza um agente solubilizante, este não deve afectar de forma significativa o crescimento dos peixes, nem produzir efeitos adversos observáveis nos juvenis, de acordo com um controlo na presença apenas do solvente.

Para os ensaios por escoamento, é necessário utilizar um sistema que distribua e dilua continuamente a solução de reserva da substância de ensaio (por exemplo, uma bomba de medição, um diluidor proporcional ou um sistema saturador), por forma a fornecer uma série de concentrações às câmaras de ensaio. As taxas de fluxo das soluções de reserva e da água de diluição devem ser verificadas a intervalos regulares durante o ensaio, de preferência diariamente, e não devem variar mais do que 10 % ao longo do ensaio. Os resultados de um ensaio interlaboratorial demonstraram que, para a truta arco-íris, é adequado utilizar uma frequência de remoção de água de 6 l/g de peixe/dia (ver ponto 1.8.2.2).

Para os ensaios semiestáticos (de renovação), a frequência de renovação do meio dependerá da estabilidade da substância de ensaio. No entanto, recomenda-se uma renovação diária da água. Se, a partir de ensaios de estabilidade preliminares (ver ponto 1.4), se demonstrar que a concentração da substância de ensaio não é estável (isto é, se estiver fora da gama de 80-120 % do valor nominal ou se for inferior a 80 % da concentração medida inicialmente) durante o período de renovação, deve considerar-se a utilização de um ensaio por escoamento.

1.6.4. Seleção de espécies

A espécie recomendada para o presente ensaio é a truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), uma vez que a maior parte da informação disponível foi obtida a partir de ensaios interlaboratoriais realizados com esta espécie (1) (3). Podem ser usadas outras espécies relativamente às quais exista documentação de referência embora o método de ensaio possa ter de ser adaptado de modo a proporcionar as condições de ensaio adequadas. Por exemplo, existem obras de referência relativas ao peixe-zebra (*Danio rerio*) (4) (5) e ao peixinho dos arrozais (*Oryzias latipes*) (6) (7) (8). Neste caso, o relatório deverá indicar o critério para a selecção das espécies e o método experimental.

1.6.5. Confinação dos peixes

Os peixes de ensaio devem ser seleccionados a partir da população de uma única reserva (de preferência proveniente da mesma desova), que tenha sido mantida em condições de qualidade da água e de iluminação idênticas às usadas no ensaio durante, pelo menos, as duas semanas anteriores à sua realização. Durante o período de confinamento e no decorrer do ensaio, os peixes devem ser alimentados preferencialmente com uma ração equivalente a 4 % do peso corporal por dia; no mínimo, a ração diária deverá corresponder a 2 % do peso corporal.

Decorrido um período inicial de 48 h deverá registar-se a mortalidade e aplicar os seguintes critérios:

- mortalidade superior a 10 % da população num período de sete dias: o lote é rejeitado na sua totalidade,
- mortalidade de 5 % a 10 % da população: aclimação durante um período adicional de sete dias: caso se verifique mortalidade superior a 5 % durante este segundo período, deverá rejeitar-se a totalidade do lote,
- mortalidade inferior a 5 % da população num período de sete dias: o lote é aceite.

Os peixes não devem receber qualquer tratamento de doenças nas duas semanas anteriores ao ensaio nem durante a realização do mesmo.

1.7. PLANEAMENTO DO ENSAIO

O «planeamento do ensaio» consiste na escolha do número e intervalos das concentrações de ensaio, do número de tanques para cada concentração e do número de peixes por tanque. Um planeamento de ensaio correctamente elaborado deverá considerar os seguintes aspectos:

- a) O objectivo do estudo;
- b) O método de análise estatística a utilizar;
- c) A disponibilidade e o custo dos meios experimentais.

A definição do objectivo deverá, se possível, especificar o rigor estatístico para o qual é necessário ocorrer uma determinada diferença, de modo a ser detectada (na taxa de crescimento, por exemplo). Em alternativa, poderá especificar a precisão com que será necessário determinar a CE_x de modo a permitir a sua estimativa (por exemplo, com $x = 10, 20$ ou 30 ; de preferência, o valor de x não deve ser inferior a 10). Se nenhuma destas informações for disponibilizada, não será possível dar uma indicação correcta da dimensão do estudo.

Importa ter presente que um planeamento considerado óptimo (ou seja, o que utiliza da melhor forma os recursos disponíveis) para análise através de um dado método estatístico poderá não o ser para outro método. Assim, um planeamento concebido para determinação da MCCEO/CSEO não será idêntico a um outro concebido para análise por regressão.

Na maioria dos casos, pelas razões analisadas por Stephan e Rogers (9), considera-se que a análise de regressão é preferível à análise de variância. No entanto, no caso de não se encontrar um modelo de regressão adequado ($r^2 < 0,9$), deverá usar-se a estimativa de CSEO/MCCEO.

1.7.1. Planeamento para análise por regressão

O planeamento de um ensaio a analisar por regressão deverá considerar os seguintes aspectos:

- a) As concentrações testadas no ensaio deverão, obrigatoriamente, incluir as concentrações às quais se observam determinadas percentagens de efeito (por exemplo, $CE_{10,20,30}$) e abranger a gama de concentrações para as quais o efeito da substância de ensaio é significativo. As estimativas das concentrações responsáveis por determinadas percentagens de efeito poderão ser feitas com maior precisão se os respectivos valores se localizarem a meio da gama de concentrações ensaiadas. A realização de um ensaio preliminar para determinação da gama de concentrações poderá ser útil na escolha das concentrações de ensaio apropriadas;
- b) De modo a permitir a aplicação de um modelo estatístico, o ensaio deve incluir, no mínimo, um tanque de controlo e cinco tanques adicionais com diferentes concentrações da substância de ensaio. Caso se utilize um agente solubilizante, o ensaio deverá incluir, além da série de ensaio, um controlo contendo o agente solubilizante na maior das concentrações testadas no ensaio (ver pontos 1.8.3 e 1.8.4);
- c) Embora se possam utilizar séries geométricas ou séries logarítmicas adequadas (10) (ver apêndice 3), recomenda-se o espaçamento logarítmico das concentrações de ensaio;
- d) Se existirem mais do que seis tanques, os tanques excedentes devem ser usados para repetição ou distribuídos ao longo da gama de concentrações de forma a reduzir o intervalo entre níveis. Não há preferência por qualquer destes procedimentos.

1.7.2. Planeamento para a estimativa de CSEO/MCCEO através de análise de variância (ANOVA)

Sempre que possível, devem usar-se repetições dos tanques correspondentes a cada concentração; a análise estatística deve efectuar-se ao nível de cada tanque (11). Sem repetições, não é possível analisar a variabilidade entre tanques, mas apenas a atribuível à variabilidade entre cada um dos elementos da população. No entanto, os resultados de um estudo publicado (12) demonstraram que, no caso examinado, a variabilidade entre tanques era muito pequena quando comparada com a variabilidade dentro de cada tanque (isto é, entre os peixes de um tanque). Assim, considera-se a realização de análise estatística a nível individual uma alternativa relativamente aceitável.

Convencionalmente, utilizam-se pelo menos cinco concentrações de ensaio de uma série geométrica com um factor que, de preferência, não deverá ser superior a 3,2.

Em geral, em ensaios com tanques repetidos, o número de repetições de tanques de controlo (e portanto, o número de peixes) deverá ser o dobro do usado em cada uma das concentrações de ensaio, as quais deverão ser de dimensão idêntica (13) (14) (15). Em contrapartida, na ausência de tanques repetidos, o número de peixes no grupo de controlo deve ser idêntico ao usado em cada concentração de ensaio.

Caso se utilize uma ANOVA baseada em tanques e não em indivíduos (o que implicaria a marcação individual dos peixes ou o uso de taxas de crescimento pseudo-específicas (ver ponto 2.1.2), o ensaio deverá incluir as repetições necessárias para a determinação do desvio-padrão relativo aos «tanques nas mesmas concentrações». Assim sendo, a estimativa do erro na análise de variância deverá considerar, no mínimo, cinco graus de liberdade (11). Se o ensaio incluir apenas repetições dos controlos, a variabilidade do erro poderá ser desviada,

uma vez que pode aumentar com o valor médio da taxa de crescimento em questão. Dado ser provável que a taxa de crescimento diminua com o aumento da concentração, esta situação poderá conduzir a uma sobrestimação da variabilidade.

1.8. PROCEDIMENTO

1.8.1. **Seleção e pesagem dos peixes de ensaio**

É importante minimizar a variação entre o peso de cada peixe no início do ensaio. O apêndice 1 contém as gamas de pesos aceitáveis para as diferentes espécies recomendadas para uso neste ensaio. A gama de pesos individuais em todo o lote de peixes no início do ensaio deve situar-se, de preferência, dentro dos limites de $\pm 10\%$ da média aritmética dos pesos, não devendo, em circunstância alguma, exceder os 25 %. Por forma a estimar o peso médio, recomenda-se a pesagem de uma amostra do lote de peixe antes de dar início ao ensaio.

A população de reserva deve ser privada de alimento durante as 24 horas que antecedem o início do ensaio. Os peixes deverão então ser escolhidos de forma aleatória. Utilizando um anestésico geral (por exemplo, uma solução aquosa de 100 mg/l de metanosulfonato de tricáina [MS 222], neutralizada por adição de duas partes de bicarbonato de sódio por cada parte de MS 222), os peixes devem ser pesados individualmente por forma a determinar o peso fresco (secos com papel absorvente) com a precisão indicada no apêndice 1. Os peixes cujo peso se encontre dentro da gama pretendida são seleccionados e distribuídos aleatoriamente pelos recipientes de ensaio. Deve registar-se o peso fresco total dos peixes em cada recipiente. O uso de anestésicos e a manipulação (incluindo a secagem com papel e a pesagem) podem causar tensão ou danos físicos nos peixes juvenis, especialmente em espécies de pequeno tamanho. Por essa razão, a manipulação dos juvenis deverá ser feita com o máximo cuidado para se evitarem esses efeitos nos animais do ensaio.

Os peixes voltam a ser pesados no 28.º dia de ensaio (ver ponto 1.8.6). No entanto, caso se considere necessário recalcular a ração alimentar, pode efectuar-se uma pesagem adicional no 14.º dia de ensaio (ver ponto 1.8.2.3). A detecção de alterações no tamanho dos peixes, a partir dos quais se possam ajustar as rações alimentares, poderá ser efectuada através de outros métodos, tais como a fotografia.

1.8.2. **Condições de exposição**

1.8.2.1. *Duração*

A duração mínima do ensaio é de 28 dias.

1.8.2.2. *Taxas de carga e densidades de ocupação*

É importante que a taxa de carga e a densidade de ocupação sejam adequadas à espécie usada no ensaio (ver apêndice 1). Uma densidade de ocupação demasiado elevada poderá dar origem a perturbações por superlotação, causadoras de reduções nas taxas de crescimento e, possivelmente, de doenças. Por outro lado, o uso de baixas densidades de ocupação poderá induzir comportamentos territoriais, que poderão também afectar o crescimento. Em todo o caso, a taxa de carga deverá ser suficientemente baixa para permitir manter uma concentração de oxigénio dissolvido de pelo menos 60 % VSA sem arejamento. Um ensaio interlaboratorial (3) demonstrou que, para a truta arco-íris, é adequado utilizar uma taxa de carga de 16 trutas de 3-5 g num volume de 40 l. A frequência de remoção de água recomendada durante o período de ensaio é de 6 l/g de peixe/dia.

1.8.2.3. *Alimentação*

Os peixes devem ser nutridos com um alimento apropriado (apêndice 1), administrado a um ritmo suficiente para induzir uma taxa de crescimento aceitável. Deverão ser tomadas as precauções necessárias para evitar o crescimento de microorganismos e a turbidez da água. No caso da truta arco-íris, considera-se adequada uma quantidade diária correspondente a 4 % do seu peso corporal (3) (16) (17) (18). A ração diária pode ser dividida em duas porções iguais, que serão fornecidas aos peixes em duas tomas separadas por um intervalo mínimo de cinco horas. O cálculo da ração baseia-se no peso total inicial dos peixes em cada recipiente. No caso de se efectuar uma segunda pesagem dos peixes no 14.º dia de ensaio, poderá efectuar-se um novo cálculo da ração alimentar. Os peixes devem ser privados de alimento durante o período de 24 horas que antecede a pesagem.

Os alimentos não consumidos e a matéria fecal devem ser removidos diariamente dos recipientes de ensaio, limpando-se cuidadosamente o fundo de cada tanque com um sistema de sucção.

1.8.2.4. *Luz e temperatura*

O fotoperíodo e a temperatura da água do ensaio devem ser apropriados para a espécie de ensaio (apêndice 1).

1.8.3. Concentrações de ensaio

Normalmente, deverão ser utilizadas cinco concentrações da substância de ensaio, independentemente do planeamento do ensaio (ver ponto 1.7.2). O conhecimento prévio da toxicidade da substância de ensaio (obtido a partir de um ensaio de toxicidade aguda e/ou de um ensaio para determinação de gama de concentrações, por exemplo) deverá ajudar na selecção das concentrações de ensaio apropriadas. Deve fornecer-se uma justificação quando se utilizam menos de cinco concentrações. A concentração de ensaio mais elevada não deverá exceder o limite de solubilidade da substância em água.

Quando se utiliza um agente solubilizante para facilitar a preparação de soluções de reserva, a sua concentração final não deve ser superior a 0,1 ml/l e, de preferência, deverá ser a mesma em todos os recipientes de ensaio (ver ponto 1.6.3). No entanto, devem fazer-se todos os esforços para evitar a utilização destes produtos.

1.8.4. Controlos

O número de controlos em água de diluição depende do planeamento do ensaio (ver pontos 1.7-1.7.2). Se se utilizar um agente solubilizante, o ensaio deverá incluir controlos com essa substância em número idêntico aos controlos em água de diluição.

1.8.5. Frequência das determinações analíticas e medições

Durante o ensaio, as concentrações da substância de ensaio deverão ser determinadas a intervalos regulares (ver abaixo).

Nos ensaios por escoamento, as taxas de fluxo das soluções de reserva do agente de diluição e da substância tóxica devem ser verificadas a intervalos regulares, de preferência diariamente, não devendo variar mais do que 10 % ao longo do ensaio. Nos ensaios em que se espera que as concentrações da substância de ensaio se mantenham dentro de um intervalo de ± 20 % dos valores nominais (isto é, dentro da gama 80-120 %; ver pontos 1.6.2 e 1.6.3), recomenda-se que, no mínimo, a maior e a menor das concentrações de ensaio sejam analisadas no início do estudo e, a partir daí, semanalmente. Para os ensaios em que não se espera que a concentração da substância de ensaio se mantenha dentro do intervalo de ± 20 % do valor nominal (com base nos dados de estabilidade da substância), será necessário analisar todas as concentrações de ensaio, seguindo o mesmo regime.

Nos ensaios semiestáticos (de renovação), em que se espera que a concentração da substância de ensaio se mantenha dentro de um intervalo de ± 20 % do valor nominal, recomenda-se que, no mínimo, a maior e a menor das concentrações de ensaio sejam analisadas logo após a sua preparação e imediatamente antes da renovação, no início do estudo e, a partir daí, semanalmente. Para os ensaios em que não se espera que a concentração da substância de ensaio se mantenha dentro do intervalo de ± 20 % do valor nominal, será necessário analisar todas as concentrações de ensaio, seguindo um regime idêntico ao recomendado para substâncias mais estáveis.

Recomenda-se que os resultados se baseiem em concentrações medidas. No entanto, caso existam provas de que a concentração da substância a ensaiar na solução se manteve, durante o ensaio, no intervalo de ± 20 % do valor nominal ou do valor da concentração inicial medida, os resultados poderão basear-se em valores nominais ou em valores medidos.

As amostras podem precisar de ser centrifugadas ou filtradas (utilizando um poro com 0,45 μm , por exemplo). Embora a centrifugação seja o procedimento recomendado, as amostras podem ser filtradas desde que o material de ensaio não adsorva aos filtros.

Durante o ensaio, o oxigénio dissolvido, o pH e a temperatura devem ser medidos em todos os recipientes de ensaio. A dureza total, a alcalinidade e a salinidade (se relevante) devem ser medidas nos controlos e num recipiente com a concentração mais elevada. O oxigénio dissolvido e a salinidade (se relevante) devem ser medidos três vezes (no início, a meio e no fim do ensaio). Nos ensaios semiestáticos, recomenda-se que o oxigénio dissolvido seja medido com maior frequência, de preferência antes e após cada renovação da água ou, pelo menos, uma vez por semana. O pH deve ser medido no início e no fim de cada renovação da água nos ensaios de renovação estática e, pelo menos, semanalmente nos ensaios por escoamento. A dureza e a alcalinidade devem ser medidas uma vez em cada ensaio. A temperatura deverá ser, de preferência, monitorizada continuamente, pelo menos, num recipiente de ensaio.

1.8.6. Observações

Peso: No fim do ensaio, todos os peixes sobreviventes devem ser pesados, avaliando-se o peso fresco (seco com papel absorvente). A pesagem pode ser feita individualmente ou em grupos por recipiente de ensaio; este último procedimento é preferível, uma vez que a pesagem em separado exige a marcação individual dos peixes. Se for necessário efectuar pesagens individuais para determinar taxas específicas de crescimento de cada um dos peixes, a técnica de marcação adoptada deverá evitar perturbar os animais (poderão utilizar-se alternativas a marcação por congelação, tais como a utilização de linha de pesca fina colorida).

Durante o período do ensaio, os peixes devem ser observados diariamente, devendo ser assinaladas quaisquer anomalias externas (tais como hemorragia, descoloração) ou comportamentos anómalos. A mortalidade deverá ser registada, e os peixes mortos retirados o mais rapidamente possível. Os peixes mortos não são substituídos, uma vez que a taxa de carga e a densidade de ocupação são suficientes para impedir que alterações no número de peixes por tanque afectem o crescimento. No entanto, a taxa de alimentação deverá ser reajustada.

2. DADOS E RELATÓRIO

2.1. TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Recomenda-se que um técnico estatístico participe tanto no planeamento como na análise do ensaio, uma vez que o método permite variações consideráveis no plano experimental no que se refere, por exemplo, ao número de recipientes de ensaio, ao número de concentrações de ensaio, ao número de peixes, etc. Devido às opções disponíveis quanto ao planeamento do ensaio, não se fornece qualquer orientação específica relativamente aos procedimentos estatísticos.

As taxas de crescimento não devem ser calculadas em recipientes de ensaio em que a mortalidade seja superior a 10 %. No entanto, deve indicar-se a taxa de mortalidade para todas as concentrações de ensaio.

Seja qual for o método utilizado na análise dos dados, o conceito fundamental é a taxa específica de crescimento r entre os tempos t_1 e t_2 . Esta pode ser definida de várias formas, dependendo de os peixes serem ou não marcados individualmente, bem como da necessidade de determinar uma média por tanque.

$$r_1 = \frac{\log_e W_2 - \log_e W_1}{t_2 - t_1} \times 100$$

$$r_2 = \frac{\log_e W_2 - \log_e W_1}{t_2 - t_1} \times 100$$

$$r_3 = \frac{\log_e W_2 - \log_e W_1}{t_2 - t_1} \times 100$$

em que

r_1 = taxa específica de crescimento individual

r_2 = taxa específica de crescimento média por tanque

r_3 = taxa pseudo-específica de crescimento

w_1, w_2 = pesos de determinado peixe nos tempos t_1 e t_2 , respectivamente

$\log_e w_1$ = logaritmo do peso de um indivíduo no início do período de estudo

$\log_e w_2$ = logaritmo do peso de um indivíduo no final do período de estudo

$\log_e W_1$ = média dos logaritmos dos valores de w_1 para os peixes do tanque no início do período de estudo

$\log_e W_2$ = média dos logaritmos dos valores de w_2 para os peixes do tanque no final do período de estudo

t_1, t_2 = tempo (em dias) no início e no final do período de estudo

As taxas r_1, r_2, r_3 podem ser calculadas para o período «dia 0-dia 28», e, quando apropriado (isto é, quando se efectuaram medições no 14.º dia de ensaio), para os períodos «dia 0-dia 14» e «dia 14-dia 28».

2.1.1. Análise de resultados por regressão (modelo concentração-resposta)

Este método de análise estabelece uma relação matemática adequada entre a taxa específica de crescimento e a concentração, permitindo a determinação da «CE_x», ou seja, de qualquer valor de CE. Utilizando este método não é necessário calcular o valor individual de r (r_1) e, em vez disso, a análise pode basear-se no valor médio de r por tanque (r_2). Este último procedimento é considerado preferível, e também mais adequado a espécies de menores dimensões.

As taxas específicas de crescimento médias por tanque (r_2) devem ser representadas graficamente em função da concentração, de forma a observar a relação concentração-resposta.

A relação entre r_2 e a concentração deve ser expressa através de um modelo apropriado, cuja escolha deve ser bem fundamentada.

Se os números de peixes sobreviventes em cada tanque forem diferentes, o procedimento de ajuste do modelo (seja este simples ou não linear) deverá ser ponderado por forma a permitir grupos de diferentes dimensões.

O método de ajuste do modelo deve permitir estimar, por exemplo, o valor de CE_{20} e da respectiva dispersão (erro-padrão ou intervalo de confiança). O gráfico do modelo ajustado deve ser apresentado em conjunto com os dados, de modo a permitir observar a adequação do ajuste realizado (9) (19) (20) (21).

2.1.2. **Análise de resultados para a determinação da MCCEO**

Caso o ensaio tenha incluído repetições dos tanques para todas as concentrações, a estimativa da MCCEO pode basear-se numa análise de variância (ANOVA) da taxa específica de crescimento média dos tanques (ver ponto 2.1), seguida da aplicação de um método apropriado de comparação entre o r médio para cada concentração e o r médio dos controlos [por exemplo, o teste de Dunnett ou o teste de Williams (13) (14) (15) (22)], a fim de identificar a menor concentração para a qual a diferença entre os dois valores é significativa a uma probabilidade de 0,05. Se não se verificarem os requisitos exigidos pelos métodos paramétricos — distribuição não normal (teste de Shapiro-Wilk, por exemplo) ou variância heterogénea (teste de Bartlett) —, poderá ser equacionada a transformação dos dados de forma a homogeneizar as variâncias antes de efectuar a ANOVA. Em alternativa, poderá realizar-se uma ANOVA ponderada.

Na ausência de repetições dos tanques para cada concentração, uma ANOVA com base em dados de tanques será insensível ou impossível. Nestes casos, um compromisso aceitável será a realização da ANOVA com base nos valores individuais da taxa pseudo-específica de crescimento r_3 .

O valor médio de r_3 para cada concentração de ensaio poderá depois ser comparado com o valor médio de r_3 para os controlos, podendo a MCCEO ser determinada de acordo com o procedimento acima descrito. Importa salientar que este método não tem em conta a variabilidade entre tanques, para além da que é devida à variabilidade entre indivíduos. No entanto, os resultados de um estudo publicado (9) demonstraram que a variabilidade entre tanques era muito pequena quando comparada com a variabilidade em cada tanque (ou seja, entre os peixes de um tanque). Se a análise não considerar os peixes de forma individual, deverá ser indicado o método de identificação de aberrações, bem como uma justificação para a sua utilização.

2.2. **INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS**

Os resultados devem ser interpretados com precaução quando as concentrações tóxicas medidas nas soluções de ensaio ocorrem em níveis perto do limite de detecção do método analítico. A interpretação dos resultados de ensaios semiestáticos, em que a concentração da substância de ensaio diminui entre o momento em que a solução é preparada e a renovação, deve igualmente ser efectuada com precaução.

2.3. **RELATÓRIO DO ENSAIO**

O relatório do ensaio deverá incluir as seguintes informações:

2.3.1. **Substância de ensaio:**

- natureza física e propriedades físico-químicas relevantes,
- dados de identificação química, incluindo o grau de pureza e o método analítico de quantificação da substância de ensaio, quando apropriado.

2.3.2. **Espécie de ensaio:**

- nome científico, se possível,
- estirpe, dimensões, fornecedor, tratamentos prévios, etc.

2.3.3. **Condições de ensaio:**

- procedimento de ensaio utilizado (por exemplo, semiestático/renovação, por escoamento, carga, densidade de ocupação, etc.),
- planeamento do ensaio (por exemplo, o número de recipientes de ensaio, concentrações de ensaio e repetições, número de peixes por recipiente),

- método de preparação das soluções de reserva e frequência de renovação (quando utilizados, o agente solubilizante e a sua concentração devem ser indicados),
- valores nominais das concentrações de ensaio, médias dos valores medidos nos recipientes de ensaio e respectivos desvios-padrão, bem como o método através do qual estes foram obtidos; devem ainda ser fornecidas provas de que as medições se referem às concentrações da substância de ensaio em verdadeira solução,
- características da água de diluição: pH, dureza, alcalinidade, temperatura, concentração do oxigénio dissolvido, níveis de cloro residual (caso tenham sido medidos), carbono orgânico total, sólidos em suspensão, salinidade do meio de ensaio (caso tenha sido medida) e quaisquer outras medições efectuadas,
- qualidade da água dentro dos recipientes de ensaio: pH, dureza, temperatura e concentração do oxigénio dissolvido,
- informações pormenorizadas sobre a alimentação [por exemplo, tipo de alimento(s), proveniência, quantidade fornecida e frequência de administração].

2.3.4. Resultados:

- prova de que os controlos satisfazem os critérios de validade relativos à sobrevivência, bem como dados sobre a mortalidade observada em qualquer uma das concentrações ensaiadas,
- métodos de análise estatística utilizados, dados usados na análise estatística (repetições ou peixes), tratamento dos dados e justificação das técnicas usadas,
- tabelas contendo os dados relativos aos pesos individuais e médios dos peixes nos dias 0, 14 (caso tenham sido medidos) e 28, bem como os valores das taxas de crescimento médias por tanque ou pseudo-específicas (conforme seja apropriado) referentes aos períodos «dia 0-dia 28», ou, se possível, «dia 0-dia 14» e «dia 14-dia 28»,
- resultados da análise estatística (isto é, análise de regressão ou ANOVA), apresentados, de preferência, em tabelas de forma gráfica, bem como a MCCEO ($p = 0,05$) e a CSEO ou a CE_{χ} ; sempre que possível e apropriado, deverão indicar-se os erros-padrão,
- incidência de quaisquer reacções invulgaes manifestadas pelos peixes e de quaisquer efeitos visíveis produzidos pela substância de ensaio.

3. REFERÊNCIAS

- (1) Solbe J. F. de LG (1987). Environmental Effects of Chemicals (CFM 9350 SLD). Report on a UK Ring Test of a Method for Studying the Effects of Chemicals on the Growth Rate of Fish. WRc Report No PRD 1388-M/2.
- (2) Meyer, A., Bierman, C. H. and Orti, G. (1993). The phylogenetic position of the zebrafish (*Danio rerio*), a model system in developmental biology: an invitation to the comparative method. Proc. R. Soc. Lond. B. 252, pp. 231-236.
- (3) Ashley S., Mallett M. J. and Grandy N. J. (1990). EEC Ring Test of a Method for Determining the Effects of Chemicals on the Growth Rate of Fish. Final Report to the Commission of the European Communities. WRc Report No EEC 2600-M.
- (4) Crossland N. O. (1985). A method to evaluate effects of toxic chemicals on fish growth. Chemosphere, 14, p. 1855-1870.
- (5) Nagel R., Bresh H., Caspers N., Hansen P. D., Market M., Munk R., Scholz N. and Höfte B. B. (1991). Effect of 3,4-dichloroaniline on the early life stages of the Zebrafish (*Brachydanio rerio*): results of a comparative laboratory study. Ecotox. Environ. Safety, 21, p. 15 7-164.
- (6) Yamamoto, Tokio. (1975). Series of stock cultures in biological field. Medaka (killifish) biology and strains. Keigaku Publish. Tokio, Japan.
- (7) Holcombe, G. W., Benoit D. A., Hammermeister, D. E., Leonard, E. N. and Johnson, R. D. (1995). Acute and long-term effects of nine chemicals on the Japanese medaka (*Oryzias latipes*). Arch. Environ. Conta. Toxicol. 28, p. 287-297.

- (8) Benoit, D. A., Holcombe, G. W. and Spehar, R. L. (1991). Guidelines for conducting early life toxicity tests with Japanese medaka (*Oryzias latipes*). Ecological Research Series EPA-600/3-91-063. US Environmental Protection Agency, Duluth, Minnesota.
- (9) Stephan C. E. and Rogers J. W. (1985). Advantages of using regression analysis to calculate results of chronic toxicity tests. Aquatic Toxicology and Hazard Assessment: Eighth Symposium, ASTM STP 891, R. C. Bahner and D. J. Hansen, eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, p. 328-338.
- (10) Environment Canada (1992). Biological test method: toxicity tests using early life stages of salmonid fish (rainbow trout, coho salmon, or atlantic salmon). Conservation and Protection, Ontario, Report EPS 1/ /RM/28, 81 p.
- (11) Cox D. R. (1958). Planning of experiments. Wiley Edt.
- (12) Pack S. (1991). Statistical issues concerning the design of tests for determining the effects of chemicals on the growth rate of fish. Room Document 4, OECD Ad Hoc Meeting of Experts on Aquatic Toxicology, WRc Medmenham, UK, 10-12 December 1991.
- (13) Dunnett C. W. (1955). A Multiple Comparisons Procedure for Comparing Several Treatments with a Control, J. Amer. Statist. Assoc, 50, p. 1096-1121.
- (14) Dunnett C. W. (1964). New tables for multiple comparisons with a control. Biometrics, 20, p. 482-491.
- (15) Williams D. A. (1971). A test for differences between treatment means when several dose levels are compared with a zero dose control. Biometrics, 27, p. 103-117.
- (16) Johnston, W. L., Atkinson, J. L., Glanville N. T. (1994). A technique using sequential feedings of different coloured food to determine food intake by individual rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*: effect of feeding level. Aquaculture 120, p. 123-133.
- (17) Quinton, J. C. and Blake, R. W. (1990). The effect of feed cycling and ration level on the compensatory growth response in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Journal of Fish Biology, 37, p. 33-41.
- (18) Post, G. (1987). Nutrition and Nutritional Diseases of Fish. Chapter IX in Textbook of Fish Health. T.F.H. Publications, Inc. Neptune City, New Jersey, USA, 288 pp.
- (19) Bruce, R. D. and Versteeg D. J. (1992). A statistical procedure for modelling continuous toxicity data. Environ. Toxicol. Chem. 11, pp. 1485-1494.
- (20) DeGraeve, G. M., Cooney, J. M., Pollock, T. L., Reichenbach, J. H., Dean, Marcus, M. D. and McIntyre, D. O. (1989). Precision of EPA seven-day fathead minnow larval survival and growth test; intra and interlaboratory study. Report EA-6189 (American Petroleum Institute Publication, No 4468). Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA.
- (21) Norbert-King T. J. (1988). An interpolation estimate for chronic toxicity: the ICp approach. US Environmental Protection Agency. Environmental Research Lab., Duluth, Minnesota. Tech. Rep. No 05-88 of National Effluent Toxicity Assessment Center. Sept. 1988. 12 pp.
- (22) Williams D. A. (1972). The comparison of several dose levels with a zero dose control. Biometrics 28, p. 510-531.

ESPÉCIES DE PEIXES RECOMENDADAS PARA ENSAIO E CONDIÇÕES DE ENSAIO APROPRIADAS

Espécie	Gama de temperaturas recomendada (°C)	Fotoperíodo (horas)	Gama de pesos iniciais dos peixes recomendada (g)	Precisão de medição exigida	Taxa de carga (g/l)	Densidade de ocupação (por litro)	Alimentação	Duração do ensaio (dias)
Espécie recomendada: <i>Oncorhynchus mykiss</i> Truta arco-íris	12,5-16,0	12-16	1-5	100 mg	1,2-2,0	4	Alimento seco (comercial), preparado a partir de salmonídeos jovens	≥ 28
Outras espécies sobre as quais existe documentação: <i>Danio rerio</i> Peixe-zebra	21-25	12-16	0,050-0,100	1 mg	0,2-1,0	5-10	Alimento vivo (<i>Brachionus</i> , <i>Artemia</i>)	≥ 28
<i>Oryzias latipes</i> Peixinho dos arrozais	21-25	12-16	0,050-0,100	1 mg	0,2-1,0	5-20	Alimento vivo (<i>Brachionus</i> , <i>Artemia</i>)	≥ 28

Apêndice 2

ALGUMAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE UMA ÁGUA DE DILUIÇÃO ACEITÁVEL

Substância	Concentrações
Partículas	< 20 mg/l
Carbono orgânico total	< 2 mg/l
Amónia não ionizada	< 1 µg/l
Cloro residual	< 10 µg/l
Total de pesticidas organofosforados	< 50 ng/l
Total de pesticidas organoclorados + bifenilos policlorados	< 50 ng/l
Cloro orgânico total	< 25 ng/l

Apêndice 3

Séries logarítmicas de concentrações apropriadas para ensaio de toxicidade (9)

Coluna (número de concentrações entre 100 e 10 ou entre 10 e 1) (*)						
1	2	3	4	5	6	7
100	100	100	100	100	100	100
32	46	56	63	68	72	75
10	22	32	40	46	52	56
3,2	10	18	25	32	37	42
1,0	4,6	10	16	22	27	32
	2,2	5,6	10	15	19	24
	1,0	3,2	6,3	10	14	18
		1,8	4,0	6,8	10	13
		1,0	2,5	4,6	7,2	10
			1,6	3,2	5,2	7,5
			1,0	2,2	3,7	5,6
				1,5	2,7	4,2
				1,0	1,9	3,2
					1,4	2,4
					1,0	1,8
						1,3
						1,0

(*) Pode escolher-se uma série de cinco (ou mais) concentrações sucessivas de uma coluna. Os pontos intermédios entre as concentrações de uma coluna (x) encontram-se na coluna (2x + 1). Os valores listados podem representar concentrações expressas em percentagem por volume ou peso (mg/l ou µg/l). Os valores podem ser multiplicados ou divididos por qualquer potência de 10, conforme seja apropriado. Caso exista uma incerteza considerável relativamente ao nível de toxicidade, pode usar-se a coluna 1.

C.15. ENSAIO DE TOXICIDADE DE CURTO PRAZO NOS PEIXES EM ESTÁDIO EMBRIONÁRIO E RECÉM-NASCIDOS

1. MÉTODO

O presente método de ensaio de toxicidade de curto prazo baseia-se na publicação OECD TG 212 (1998) (normas de ensaio da OCDE).

1.1. INTRODUÇÃO

O presente ensaio de toxicidade a curto prazo nos peixes em estágio embrionário e recém-nascidos é um ensaio de curto prazo, em que se testa a exposição em todas as fases do ciclo de vida desde o ovo recém-fertilizado até ao fim da fase de recém-nascido. Uma vez que, neste ensaio, não é fornecido qualquer alimento aos embriões e peixes recém-nascidos, o ensaio deve ser finalizado enquanto os peixes recém-nascidos ainda se alimentam a partir do saco vitelino.

Este ensaio destina-se a definir os efeitos letais e, até certo ponto, subletais de determinados produtos químicos nos estádios e espécies ensaiados. A informação obtida será útil na medida em que permite a) estabelecer uma ligação entre os ensaios letais e subletais; b) ser utilizado como um ensaio de despiste tanto para um ensaio relativo às primeiras fases de vida como para ensaios de toxicidade crónica; e c) ser utilizado para ensaios em espécies para as quais as técnicas de criação não estejam suficientemente avançadas de modo a abrangerem o período de mudança da alimentação endógena para a exógena.

Importa ter presente que, de um modo geral, só os ensaios que abrangem todos os estádios do ciclo de vida dos peixes são susceptíveis de proporcionar uma estimativa exacta da toxicidade crónica dos produtos químicos para estes animais e que a redução da exposição em qualquer estágio pode reduzir a sensibilidade e, por conseguinte, subestimar a toxicidade crónica. É então de esperar que os ensaios em embriões e peixes recém-nascidos sejam menos sensíveis que um ensaio que englobe todas as fases iniciais de vida, particularmente no respeitante a produtos químicos com elevada lipofilicidade ($\log P_{ow} > 4$) e produtos químicos com um mecanismo específico de acção tóxica. No entanto, para produtos químicos com um mecanismo de acção narcótico não específico, esperam-se menores diferenças entre os dois ensaios em termos de sensibilidade (1).

Antes da publicação deste ensaio, a maior parte das experiências com embriões e peixes recém-nascidos foram realizadas com o peixe de água doce *Danio rerio* Hamilton-Buchanan (*Teleostei, Cyprinidae*; nome comum peixe-zebra). Por esta razão, é fornecida no apêndice 1 uma orientação mais pormenorizada sobre o ensaio com esta espécie, o que não exclui a utilização de outras espécies ensaiadas e relativamente às quais existem obras de referência (quadros 1A e 1B).

1.2. DEFINIÇÕES

Menor concentração com efeito observável (LOEC): é a menor concentração de ensaio da substância a ensaiar para a qual se observa um efeito significativo ($p < 0,05$) quando comparado com o controlo. No entanto, todas as concentrações de ensaio superiores à LOEC devem ter um efeito prejudicial igual ou superior ao verificado com a NOEC.

Concentração sem efeito observável (NOEC): é a concentração de ensaio cujo valor se situa imediatamente abaixo do valor da LOEC.

1.3. PRINCÍPIO DO ENSAIO

Os peixes em estágio embrionário e recém-nascidos são expostos a uma gama de concentrações da substância de ensaio dissolvida em água. No âmbito do protocolo, é possível escolher entre um método semi-estático e um método por escoamento. A escolha depende da natureza da substância de ensaio. O ensaio inicia-se colocando ovos fertilizados nas câmaras de ensaio e termina imediatamente antes de o saco vitelino de qualquer larva em qualquer das câmaras de ensaio ter sido completamente absorvido ou antes de ocorrer mortalidade nos controlos por falta de alimento. Os efeitos letais e subletais são avaliados e comparados com os valores de controlo de modo a determinar a menor concentração com efeito observável e, a partir daí, a concentração sem efeito observável. Em alternativa, podem ser analisados utilizando um modelo de regressão para estimar a concentração que provocaria uma dada percentagem de efeito (isto é a CL/CE_x , em que x é uma % de efeito definido).

1.4. INFORMAÇÃO SOBRE A SUBSTÂNCIA DE ENSAIO

Deverão estar disponíveis resultados de um ensaio de toxicidade aguda (ver método C.1) realizado de preferência com a espécie escolhida para este ensaio. Os resultados podem ser úteis para a selecção de uma gama apropriada das concentrações a testar no ensaio sobre as fases iniciais de vida. A solubilidade em água (incluindo a solubilidade na água do ensaio) e a pressão de vapor da substância de ensaio devem ser conhecidas. Deve ser possível utilizar um método analítico fiável para a quantificação da substância nas soluções a ensaiar, relativamente ao qual a exactidão e o limite de detecção sejam conhecidos e se encontrem descritos.

A fórmula estrutural da substância de ensaio, o seu grau de pureza, estabilidade à luz, estabilidade nas condições do ensaio, pK_a , P_{ow} e os resultados de um ensaio para a biodegradabilidade «fácil» são informações úteis para o planeamento do ensaio (ver método C.4).

1.5. VALIDADE DO ENSAIO

Um ensaio é considerado válido quando são cumpridas as seguintes condições:

- o número total de ovos fertilizados vivos no grupo de controlo e, quando aplicável, nos recipientes-
-controlo para o solvente, deve ser igual ou superior aos limites definidos nos apêndices 2 e 3,
- a concentração do oxigénio dissolvido deve situar-se entre 60 e 100 % do valor da saturação com o ar
(VSA) ao longo de todo o ensaio,
- a temperatura da água não deve variar mais do que $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ entre as diferentes câmaras de ensaio ou entre
dias sucessivos, em qualquer momento do ensaio, devendo ainda situar-se na gama de temperaturas
especificada para as espécies a ensaiar (apêndices 2 e 3).

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.6.1. Câmaras de ensaio

Podem ser utilizados quaisquer recipientes de vidro ou outros recipientes em material quimicamente inerte. A dimensão dos recipientes deve ser suficiente para permitir cumprir os requisitos relativos à carga (ver ponto 1.7.1.2). Recomenda-se que as câmaras de ensaio sejam posicionadas de forma aleatória na área de ensaio. Quando em presença de efeitos sistemáticos no laboratório que possam ser controlados mediante a disposição por agrupamento, é preferível aplicar um esquema aleatório de disposição por agrupamento, com cada tratamento está presente em cada grupo, do que um esquema totalmente aleatório. A disposição das câmaras de ensaio por agrupamento, se utilizada, deve ser tomada em consideração na posterior análise de dados. As câmaras de ensaio devem estar protegidas contra perturbações indesejáveis.

1.6.2. Selecção das espécies de peixes

As espécies de peixes recomendadas encontram-se indicadas no quadro 1A. Poderão ser utilizadas outras espécies (exemplos no quadro 1B), mas o método de ensaio poderá ter de ser adaptado de modo a proporcionar condições de ensaio adequadas. Neste caso, o critério para a selecção das espécies e o método experimental deverão ser indicados no relatório.

1.6.3. Confinação da descendência dos peixes

Poderão ser encontradas indicações úteis sobre a confinção dos alevins em condições adequadas no OECD TG 210 ⁽¹⁾ e nas referências bibliográficas (2), (3), (4), (5) e (6).

1.6.4. Manuseamento de embriões e larvas

Dentro do recipiente principal, os embriões e as larvas podem ser colocados em recipientes menores com as partes laterais ou extremidades em rede, de modo a permitir um fluxo da solução de ensaio através do recipiente. Uma forma de provocar o fluxo, sem turbulência, consiste em pendurar estes pequenos recipientes num «braço» que se movimenta para cima e para baixo, desde que os organismos sejam mantidos sempre submersos. Poderá também utilizar-se um sistema de fluxo por efeito de sifão. Os ovos fertilizados de peixes salmonídeos podem ser colocados em suportes ou redes com orifícios suficientemente largos para permitir que as larvas saiam após a eclosão. Nos ensaios semi-estáticos com renovação diária total, a remoção dos embriões e das larvas poderá ser feita de forma apropriada utilizando pipetas Pasteur (ver ponto 1.6.6).

Quando se utilizam recipientes de ovos, grades ou redes para confinar os ovos no recipiente principal de ensaio, estas vedações devem ser removidas após a eclosão ⁽¹⁾ das larvas, com excepção das redes, que devem ser mantidas para evitar que os peixes escapem. Se houver necessidade de transferir as larvas, estas não devem ser expostas ao ar e não se devem utilizar redes para soltar os peixes dos recipientes de ovos (tal precaução pode não ser necessária para algumas espécies menos frágeis, como a carpa, por exemplo). O momento adequado para efectuar esta transferência varia em função das espécies utilizadas, havendo casos em que a transferência poderá não ser necessária. Para o método semi-estático, podem ser utilizados copos ou recipientes pouco fundos e, se necessário, equipados com uma peneira de rede ligeiramente elevada acima do fundo do copo. Se o volume destes recipientes for suficiente para obedecer aos requisitos de carga, poderá não ser necessário efectuar a transferência de embriões ou larvas (ver ponto 1.7.1.2).

1.6.5. Água

Qualquer água é adequada como água de ensaio, desde que esteja em conformidade com as características químicas de uma água de diluição aceitável, como indicado no apêndice 4, e desde que a taxa de sobrevivência das espécies a ensaiar seja, nos controlos, pelo menos tão satisfatória como a descrita nos apêndices 2 e 3. A qualidade de água deve ser mantida constante durante o decorrer do ensaio. A variação do valor de pH não deverá ser superior a $\pm 0,5$ unidades. De modo a assegurar que a água de diluição não influencie indevidamente

⁽¹⁾ OECD, Paris, 1992. Test Guideline 210, «Fish, Early-life Stage Toxicity Test».

o resultado do ensaio (por complexação da substância de ensaio, por exemplo) ou afecte de forma desfavorável o desempenho do lote de descendentes, deverão ser retiradas amostras regularmente para análise. Devem efectuar-se medições de metais pesados (por exemplo Cu, Pb, Zn, Hg, Cd e Ni), aniões e cатиões principais (por exemplo Ca, Mg, Na, K, Cl e SO₄), pesticidas (por exemplo pesticidas organofosforados totais e organoclorados totais), carbono orgânico total e sólidos em suspensão, por exemplo, de três em três meses nos casos em que se sabe que a água de diluição mantém uma qualidade relativamente constante. Se se demonstrar que a qualidade da água se mantém inalterada durante, pelo menos, um ano, as determinações podem ser menos frequentes (de seis em seis meses, por exemplo).

1.6.6. Soluções de ensaio

As soluções de ensaio com as concentrações escolhidas são preparadas por diluição da solução de reserva.

A solução de reserva deve ser preparada, preferencialmente, apenas por mistura ou agitação da substância de ensaio na água de diluição, utilizando meios mecânicos (agitação e dispersão ultra-sónica, por exemplo). Podem ser utilizadas colunas de saturação (colunas de solubilidade) para obter uma solução de reserva concentrada adequada. Deve evitar-se, tanto quanto possível, a utilização de solventes ou dispersantes (agentes solubilizantes). No entanto, tais compostos podem ser necessários, em alguns casos, para produzir uma solução de reserva com a concentração adequada. A acetona, o etanol, o metanol, a dimetilformamida e o trietilenoglicol são exemplos de solventes adequados. Dispersantes adequados são, por exemplo, o Cremofor RH40, o Tween 80, a metilcelulose 0,01 % e o HCO-40. Deve ter-se cuidado ao utilizar agentes facilmente biodegradáveis (como a acetona, por exemplo) e/ou altamente voláteis, uma vez que estes podem causar problemas com o desenvolvimento de bactérias nos ensaios em que for utilizado o método de escoamento. Quando se utiliza um agente solubilizante, este não deve ter um efeito significativo na sobrevivência, nem um efeito adverso observável nas fases iniciais de vida, de acordo com o controlo em presença apenas do solvente. No entanto, como se referiu acima, devem fazer-se todos os esforços para evitar utilizar tais produtos.

Para o método semi-estático, podem seguir-se dois procedimentos de renovação diferentes: i) podem preparar-se novas soluções de ensaio em recipientes limpos e transferir suavemente os ovos e larvas sobreviventes para estes recipientes, num pequeno volume da solução velha e evitando a exposição ao ar, ou ii) podem manter-se os organismos a ensaiar nos recipientes enquanto uma proporção da água de ensaio (pelo menos três quartos) é mudada. A frequência de renovação do meio dependerá da estabilidade da substância de ensaio, mas recomenda-se uma renovação diária da água. Se, a partir de ensaios de estabilidade preliminares (ver ponto 1.4), se demonstrar que a concentração da substância de ensaio não é estável (isto é, se estiver fora da gama de 80-120 % do valor nominal ou for inferior a 80 % da concentração medida inicialmente) durante o período de renovação, deve considerar-se a utilização de um ensaio por escoamento. Em qualquer dos casos, deve ter-se cuidado para evitar a perturbação das larvas durante a operação de renovação da água.

Para os ensaios por escoamento, é necessário utilizar um sistema que distribua e dilua continuamente a solução de reserva da substância de ensaio (uma bomba de medição, um diluidor proporcional, um sistema saturador, por exemplo), por forma a fornecer uma série de concentrações às câmaras de ensaio. As taxas de fluxo das soluções de reserva e da água de diluição devem ser verificadas a intervalos regulares, de preferência diariamente, e não devem variar mais do que 10 % ao longo do ensaio. Considera-se adequada uma taxa de fluxo equivalente a, pelo menos, o volume de cinco câmaras de ensaio em 24 horas (2).

1.7. PROCEDIMENTO

Existem trabalhos publicados que contêm informações úteis sobre a realização de ensaios de toxicidade em embriões de peixe e peixes recém-nascidos, dos quais alguns são indicados na bibliografia apresentada no final (7), (8) e (9).

1.7.1. Condições de exposição

1.7.1.1. Duração

O ensaio deve iniciar-se de preferência 30 minutos após a fertilização dos ovos. Os embriões são imersos na solução de ensaio antes ou o mais cedo possível depois do início da fase de segmentação discoidal mas, de qualquer forma, sempre antes do início da fase de gástrula. Nos casos em que os ovos utilizados forem obtidos através de um fornecedor comercial, poderá não ser possível iniciar o ensaio imediatamente após a fertilização. O ensaio deve iniciar-se nas oito horas subsequentes à fertilização, porque qualquer atraso pode influenciar significativamente a sensibilidade. Uma vez que as larvas não são alimentadas durante o período de exposição, o ensaio deve terminar imediatamente antes que o saco vitelino de qualquer larva em qualquer das câmaras de ensaio tenha sido completamente absorvido ou antes que se registre mortalidade por falta de alimento. O tempo de exposição dependerá da espécie utilizada. Nos apêndices 2 e 3, apresentam-se algumas recomendações relativas ao período de exposição.

1.7.1.2. Carga

O número de ovos fertilizados no início do ensaio deverá ser suficiente para permitir o cumprimento dos requisitos estatísticos. Os ovos devem ser distribuídos aleatoriamente pelos grupos de tratamento e, pelo menos, 30 ovos fertilizados deverão ser repartidos de forma equitativa (ou da forma mais equitativa possível, uma vez que é difícil obter lotes iguais quando se utilizam algumas espécies) pelo menos por três câmaras de ensaio (repetições) para cada concentração. A taxa de carga (biomassa por volume de solução de ensaio) deve

ser suficientemente pequena para permitir manter uma concentração de oxigénio dissolvido de pelo menos 60 % VSA sem arejamento. Para os ensaios por escoamento, foi recomendada uma taxa de carga que nunca deverá exceder 0,5 g/l em 24 horas, nem 5 g/l de solução (2).

1.7.1.3. *Luz e temperatura*

O fotoperíodo e a temperatura da água do ensaio devem ser apropriados para a espécie a ensaiar (apêndices 2 e 3). Poderá ser apropriado utilizar um recipiente de ensaio adicional para a monitorização da temperatura.

1.7.2. **Concentrações de ensaio**

Normalmente, deverão ser utilizadas cinco concentrações da substância de ensaio espaçadas por um factor constante não superior a 3,2. Na escolha da gama de concentrações do ensaio, deve considerar-se a curva que relaciona a CL_{50} com o período de exposição no estudo de toxicidade aguda. Nalgumas circunstâncias, poderá ser apropriado utilizar menos de cinco concentrações (em testes-limite, por exemplo) e um intervalo de concentração mais estreito. Deve fornecer-se uma justificação quando se utilizam menos de cinco concentrações. As concentrações da substância superiores ao valor CL_{50} após 96 horas ou a 100 mg/l (a mais reduzida das duas), não necessitam de ser ensaiadas. As substâncias não devem ser ensaiadas acima do seu limite de solubilidade na água de ensaio.

Quando se utiliza um agente solubilizante para facilitar a preparação de soluções de ensaio (ver ponto 1.6.6), a sua concentração final nos recipientes de ensaio não deve ser superior a 0,1 ml/l e deve ser a mesma em todos os recipientes de ensaio.

1.7.3. **Controlos**

Além dos ensaios principais, devem ser utilizados um controlo da água destilada (com as repetições apropriadas) e, se relevante, um controlo contendo o agente solubilizante (com as repetições apropriadas).

1.7.4. **Frequência das determinações analíticas e medições**

Durante o ensaio, as concentrações da substância de ensaio deverão ser determinadas a intervalos regulares.

No ensaio semi-estático, em que se espera que a concentração da substância de ensaio se mantenha dentro de um intervalo de $\pm 20\%$ do valor nominal (isto é, dentro da gama 80-120 %; ver ponto 1.4 e 1.6.6), recomenda-se que, no mínimo, a maior e a menor concentrações de ensaio sejam analisadas quando acabam de ser preparadas e imediatamente antes da renovação em, pelo menos, três ocasiões a intervalos regulares durante o ensaio (isto é as análises devem ser realizadas numa amostra da mesma solução — quando esta acaba de ser preparada e no momento da renovação).

Para os ensaios em que não se espera que a concentração da substância de ensaio se mantenha dentro do intervalo de $\pm 20\%$ do valor nominal (com base nos dados de estabilidade da substância), é necessário analisar todas as concentrações de ensaio, logo após a sua preparação e antes da renovação, mas seguindo o mesmo regime (isto é, em pelo menos três ocasiões a intervalos regulares durante o ensaio). A determinação das concentrações da substância de ensaio antes da renovação só necessita de ser realizada numa das repetições para cada concentração de ensaio. O intervalo entre as determinações não deve exceder sete dias. Recomenda-se que os resultados se baseiem em concentrações medidas. No entanto, os resultados podem basear-se em valores nominais ou valores iniciais medidos, se existirem provas de que a concentração da substância a ensaiar na solução se manteve no intervalo de $\pm 20\%$ do valor nominal ou do valor da concentração inicial medida durante o ensaio.

Para os ensaios por escoamento, é apropriado um regime de amostragem semelhante ao descrito para os ensaios semi-estáticos (embora a medição das soluções «usadas» não seja aplicável neste caso). No entanto, se o ensaio se prolongar por mais de sete dias, poderá ser aconselhável aumentar o número de amostras analisadas durante a primeira semana (efectuando três conjuntos de medições, por exemplo) de forma a assegurar que as concentrações de ensaio se mantêm estáveis.

As amostras podem precisar de ser centrifugadas ou filtradas (utilizando um poro com 0,45 μm de tamanho, por exemplo). No entanto, como nem sempre a centrifugação ou a filtração separam a fracção não biodisponível da fracção biodisponível da substância de ensaio, as amostras poderão não ser sujeitas a estes tratamentos.

Durante o ensaio, o oxigénio dissolvido, o pH e a temperatura devem ser medidos em todos os recipientes de ensaio. A dureza total e a salinidade (se relevante) devem ser medidas nos controlos e num recipiente com a concentração mais elevada. O oxigénio dissolvido e a salinidade (se relevante) devem ser medidos, no mínimo, três vezes (no início, a meio e no fim do ensaio). Nos ensaios semi-estáticos, recomenda-se que o oxigénio dissolvido seja medido com maior frequência, de preferência antes e após cada renovação da água ou, pelo

menos, uma vez por semana. O pH deve ser medido no início e no fim de cada renovação da água nos ensaios semi-estáticos e, pelo menos, semanalmente nos ensaios por escoamento. A dureza deve ser medida uma vez em cada ensaio. A temperatura deve ser medida diariamente e, de preferência, monitorizada continuamente pelo menos num recipiente de ensaio.

1.7.5. Observações

1.7.5.1. *Estádio de desenvolvimento embrionário*

O estágio embrionário (isto é, o estágio de gástrula) no início da exposição à substância de ensaio deve ser verificado de forma tão precisa quanto possível. Poder-se-á utilizar para o efeito uma amostra representativa dos ovos adequadamente conservados e limpos. A bibliografia apresentada no final poderá também ser consultada para a descrição e ilustração dos estádios embrionários (2), (5), (10) e (11).

1.7.5.2. *Eclusão e sobrevivência*

A eclusão e a sobrevivência deverão ser observadas e registadas, pelo menos diariamente. No início do ensaio, poderá ser útil efectuar observações mais frequentes (de 30 em 30 minutos durante as primeiras três horas, por exemplo), uma vez que, em alguns casos, o período de sobrevivência pode ser mais relevante do que apenas o número de mortes (quando existem efeitos tóxicos agudos, por exemplo). Os embriões e as larvas mortos devem ser retirados logo após a sua observação, uma vez que podem decompor-se rapidamente. A remoção dos indivíduos mortos deverá ser extremamente cuidadosa, de forma a não provocar danos físicos nos ovos/larvas vizinhos, já que estes são extremamente frágeis e sensíveis. Os critérios de morte variam de acordo com o estágio de vida:

- **para os ovos:** particularmente nos estádios iniciais, uma acentuada perda de translucidez e alteração na coloração, causada por coagulação e/ou precipitação de proteína e conduzindo a um aspecto branco opaco,
- **para os embriões:** ausência de movimento e/ou ausência de batimentos cardíacos e/ou descoloração opaca nas espécies com embriões normalmente translúcidos,
- **para as larvas:** imobilidade e/ou ausência de movimentos respiratórios e/ou ausência de batimentos cardíacos e/ou coloração branca opaca do sistema nervoso central e/ou falta de reacção a estímulos mecânicos.

1.7.5.3. *Aspecto anómalo*

O número de larvas que apresentam uma forma corporal e/ou uma pigmentação anómalos, assim como o estado de absorção do saco vitelino deverão ser registados a intervalos de tempo adequados em função da duração do ensaio e da natureza da anomalia descrita. É importante notar que o aparecimento de embriões e larvas com anomalias é um fenómeno que ocorre naturalmente, podendo nalgumas espécies afectar uma percentagem significativa do(s) controlo(s). Os animais que apresentem um aspecto anómalo só devem ser retirados dos recipientes de ensaio quando estiverem mortos.

1.7.5.4. *Comportamento anómalo*

Anomalias tais como a hiperventilação, as alterações no comportamento natatório e o estado de passividade anormal, deverão ser registadas a intervalos de tempo adequados, em função da duração do ensaio. Embora estes efeitos sejam difíceis de quantificar, a sua observação pode ajudar na interpretação dos dados relativos à mortalidade, isto é, podem fornecer informação sobre o mecanismo de acção tóxica da substância.

1.7.5.5. *Comprimento*

Recomenda-se que, no fim do ensaio, se proceda à medição do comprimento de cada indivíduo. Os comprimentos a medir poderão ser o normalizado, o comprimento até à extremidade da barbatana caudal ou o comprimento total. Se, no entanto, as barbatanas caudais dos peixes apresentarem sinais de apodrecimento ou erosão, o comprimento a medir será o normalizado. Normalmente, num ensaio bem realizado o coeficiente da variação de comprimento entre as repetições dos controlos deve ser $\leq 20\%$.

1.7.5.6. *Peso*

No fim do ensaio, os indivíduos poderão ser pesados separadamente, sendo preferível o peso seco (24 horas a 60°C) ao peso fresco (seco com papel absorvente). Normalmente, num ensaio bem realizado, o coeficiente de variação de peso entre as repetições dos controlos deve ser $\leq 20\%$.

A partir destas observações, deverão ser elaborados todos ou parte dos seguintes dados, que serão objecto de análise estatística:

- mortalidade acumulada,
- números de larvas saudáveis no fim do ensaio,
- início e fim do período de eclosão (isto é 90 % de eclosão em cada repetição),
- números de larvas eclodidas por dia,
- comprimento (e peso) dos animais sobreviventes no fim do ensaio,
- números de larvas que apresentam deformações ou um aspecto anómalo,
- números de larvas que apresentam um comportamento anómalo.

2. DADOS E RELATÓRIO

2.1. TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Recomenda-se que um técnico estatístico participe tanto no planeamento como na análise do ensaio, uma vez que o método permite variações consideráveis no planeamento experimental no que se refere, por exemplo, ao número de câmaras de ensaio, ao número de concentrações de ensaio, ao número inicial de ovos fertilizados e aos parâmetros medidos. Devido às inúmeras opções disponíveis quanto ao planeamento do ensaio, não se fornece qualquer orientação específica relativamente aos procedimentos estatísticos.

Se se pretender determinar a LOEC/NOEC, será necessário analisar as variações dentro de cada conjunto de repetições, utilizando uma análise de variância (ANOVA) ou procedimentos de tabelas de contingência. O método de Dunnett (12) (13) pode ser útil para efectuar uma comparação múltipla entre os resultados das concentrações individuais e os dos controlos. Existem igualmente outros exemplos úteis (14) (15). A dimensão do efeito detectável utilizando o método ANOVA ou outros procedimentos (isto é a capacidade do ensaio) deverá ser calculada e descrita. Importa salientar que nem todas as observações descritas no ponto 1.7.5.6 são adequadas para a análise estatística utilizando a ANOVA. A mortalidade acumulada e os números de larvas saudáveis no fim do ensaio podem ser analisados utilizando métodos probit, por exemplo.

Se se pretender determinar os valores CL/CE_x , a(s) curva(s) adequada(s), como a curva logística, deve(m) ser ajustada(s) aos dados relevantes utilizando um método estatístico (como o método dos mínimos quadrados ou dos mínimos quadrados não linear). A(s) curva(s) deve(m) ser parametrizada(s) de modo a que os valores CL/CE_x de interesse e o seu desvio-padrão possam ser estimados directamente. Isto facilitará enormemente o cálculo dos limites de confiança em volta dos valores CL/CE_x . A não ser que haja boas razões para preferir limites de confiança diferentes, devem ser utilizados limites de confiança de mais ou menos 95 %. O procedimento de ajuste deve, preferencialmente, permitir avaliar a significância da falta de ajuste. Podem utilizar-se métodos gráficos de ajuste de curvas. A análise de regressão é adequada para todas as observações descritas no ponto 1.7.5.6.

2.2. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados devem ser interpretados com precaução quando as concentrações tóxicas medidas nas soluções de ensaio ocorrem em níveis situados perto do limite de detecção do método analítico. A interpretação dos resultados para concentrações superiores ao limite de solubilidade da substância na água deve igualmente ser efectuada com precaução.

2.3. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deverá incluir as seguintes informações:

2.3.1. Substância de ensaio:

- natureza física e propriedades físico-químicas relevantes,
- dados de identificação química, incluindo o grau de pureza e o método analítico para a quantificação das substâncias de ensaio, quando apropriado.

2.3.2. Espécie de ensaio:

- nome científico, estirpe, número de peixes progenitores (isto é número de fêmeas utilizadas para fornecer o número de ovos necessários ao ensaio), fonte e método de recolha dos ovos fertilizados e posterior manuseamento.

2.3.3. Condições de ensaio:

- o procedimento de ensaio utilizado (semi-estático ou por escoamento, período de tempo desde a fertilização até ao início do ensaio, carga, etc.),
- o(s) fotoperíodo(s),
- o planeamento do ensaio (por exemplo, o número de câmaras de ensaio e repetições, o número de embriões por repetição),
- o método de preparação das soluções de reserva e a frequência de renovação (quando utilizados, o agente solubilizante e a sua concentração devem ser indicados),
- os valores nominais das concentrações de ensaio, os valores medidos, as suas médias e os respectivos desvios-padrão nos recipientes de ensaio, o método através do qual estes foram obtidos e, se a substância de ensaio for solúvel na água em concentrações inferiores às ensaiadas, as provas de que as medições se referem às concentrações da substância de ensaio na solução,
- características da água de diluição: o pH, a dureza, a temperatura, a concentração do oxigénio dissolvido, os níveis de cloro residual (caso tenham sido medidos), o carbono orgânico total, os sólidos em suspensão, a salinidade do meio de ensaio (caso tenha sido medida) e quaisquer outras medições efectuadas,
- a qualidade da água dentro dos recipientes de ensaio: o pH, a dureza, a temperatura e a concentração do oxigénio dissolvido.

2.3.4. Resultados:

- resultados de qualquer estudo preliminar sobre a estabilidade da substância de ensaio,
- prova de que os controlos estão de acordo com o padrão de aceitação de sobrevivência total da espécie de ensaio (apêndices 2 e 3),
- dados sobre a mortalidade/sobrevivência nos estádios embrionário e larvar e sobre a mortalidade/sobrevivência total,
- dias até à eclosão e número de eclosões,
- dados sobre o comprimento (e peso),
- incidência e descrição de anomalias morfológicas, caso tenham sido observadas,
- incidência e descrição de efeitos comportamentais, caso tenham sido observados,
- análise estatística e tratamento de dados,
- para ensaios analisados utilizando o método ANOVA, a menor concentração com efeito observável (LOEC) a $p = 0,05$ e a concentração sem efeito observável (NOEC) para cada resposta avaliada, incluindo uma descrição dos procedimentos estatísticos utilizados e uma indicação da dimensão do efeito que pode ser detectado,
- para os ensaios analisados utilizando técnicas de regressão, a CL/CE_x e os intervalos de confiança, bem como o gráfico do modelo ajustado utilizado para o seu cálculo,
- explicação dos motivos para qualquer desvio a este método de ensaio.

3. REFERÊNCIAS

- (1) Kristensen P. (1990). Evaluation of the Sensitivity of Short Term Fish Early Life Stage Tests in Relation to other FELS Test Methods. Final report to the Commission of the European Communities, 60 p. June 1990.
- (2) ASTM (1988). Standard Guide for Conducting Early Life-Stage Toxicity Tests with Fishes. American Society for Testing and Materials. E 1241-88. 26 p.
- (3) Brauhn J. L. and Schoettger R. A. (1975). Acquisition and Culture of Research Fish: Rainbow trout, Fathead minnows, Channel Catfish and Bluegills. p. 54, Ecological Research Series, EPA-660/3-75-O11, Duluth, Minnesota.
- (4) Brungs W. A. and Jones B. R. (1977). Temperature Criteria for Freshwater Fish: Protocol and Procedures. p. 128, Ecological Research Series EPA-600/3-77-061, Duluth, Minnesota.
- (5) Laale H. W. (1977). The Biology and Use of the Zebrafish (*Brachydanio rerio*) in Fisheries Research. A Literature Review. J. Biol. 10, p. 121-173.
- (6) Legault R. (1958). A Technique for Controlling the Time of Daily Spawning and Collecting Eggs of the Zebrafish, *Brachydanio rerio* (Hamilton-Buchanan) Copeia, 4, p. 328-330.
- (7) Dave G., Damgaard B., Grande M., Martelin J. E., Rosander B. and Viktor T. (1987). Ring Test of an Embryo-larval Toxicity Test with Zebrafish (*Brachydanio rerio*) Using Chromium and Zinc as Toxicants. Environmental Toxicology and Chemistry, 6, p. 61-71.
- (8) Birge J. W., Black J. A. and Westerman A. G. (1985). Short-term Fish and Amphibian Embryo-larval Tests for Determining the Effects of Toxicant Stress on Early Life Stages and Estimating Chronic Values for Single Compounds and Complex Effluents. Environmental Toxicology and Chemistry 4, p. 807-821.
- (9) Van Leeuwen C. J., Espeldoorn A. and Mol F. (1986). Aquatic Toxicological Aspects of Dithiocarbamates and Related Compounds. III. Embryolarval Studies with Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*). J. Aquatic Toxicology, 9, p. 129-145.
- (10) Kirchen R. V. and W. R. West (1969). Teleostean Development. Carolina Tips 32(4): 1-4. Carolina Biological Supply Company.
- (11) Kirchen R. V. and W. R. West (1976). The Japanese Medaka. Its care and Development. Carolina Biological Supply Company, North Carolina. 36 p.
- (12) Dunnett C. W. (1955). A Multiple Comparisons Procedure for Comparing Several Treatments with Control. J. Amer. Statist. Assoc, 50, p. 1096-1121.
- (13) Dunnett C. W. (1964). New Tables for Multiple Comparisons with a Control. Biometrics, 20, p. 482-491.
- (14) Mc Clave J. T., Sullivan J. H. and Pearson J.G. (1980). Statistical Analysis of Fish Chronic Toxicity Test Data. Proceedings of 4th Aquatic Toxicology Symposium, ASTM, Philadelphia.
- (15) Van Leeuwen C. J., Aderna D. M. M. and Hermes J. (1990). Quantitative Structure-Activity Relationships for Fish Early Life Stage Toxicity. Aquatic Toxicology, 16, p. 321-334.
- (16) Environment Canada. (1992). Toxicity Tests Using Early Life Stages of Salmonid Fish (Rainbow Trout, Coho Salmon or Atlantic Salmon). Biological Test Method Series. Report EPS 1/RM/28, December 1992, 81 p.
- (17) Dave G. and Xiu R. (1991). Toxicity of Mercury, Nickel, Lead and Cobalt to Embryos and Larvae of Zebrafish, *Brachydanio rerio*. Arch. of Environmental Contamination and Toxicology, 21, p. 126-134.
- (18) Meyer A., Bierman C. H. and Orti G. (1993). The phylogenetic position of the Zebrafish (*Danio rerio*), a model system in developmental biology — an invitation to the comparative methods. Proc. Royal Society of London, Series B, 252, p. 231-236.

- (19) Ghillebaert F., Chaillou C., Deschamps F. and Roubaud P. (1995). Toxic Effects, at Three pH Levels, of Two Reference Molecules on Common Carp Embryo. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 32, p. 19-28.
- (20) US EPA, (1991). Guidelines for Culturing the Japanese Medaka, *Oryzias latipes*. EPA report EPA/600/3-91/064, Dec. 1991, EPA, Duluth.
- (21) US EPA, (1991). Guidelines for Conducting Early Life Stage Toxicity Tests with Japanese Medaka, (*Oryzias latipes*). EPA report EPA/600/3-91/063, Dec. 1991, EPA, Duluth.
- (22) De Graeve G. M., Cooney J. D., McIntyre D. O., Poccocic T. L., Reichenbach N. G., Dean J. H. and Marcus M. D. (1991). Validity in the performance of the seven-day Fathead minnow (*Pimephales promelas*) larval survival and growth test: an intra- and interlaboratory study. *Environ. Tox. Chem.* 10, p. 1189-1203.
- (23) Calow P. (1993). Handbook of Ecotoxicology, Blackwells, Oxford. Vol. 1, Chapter 10: Methods for spawning, culturing and conducting toxicity tests with Early Life stages of Estuarine and Marine fish.
- (24) Balon E. K. (1985). Early life history of fishes: New developmental, ecological and evolutionary perspectives, Junk Publ., Dordrecht, 280 p.
- (25) Blaxter J. H. S. (1988). Pattern and variety in development, in: W. S. Hoar and D. J. Randall eds., *Fish Physiology*, Vol. XIA, Academic press, p. 1-58.

Quadro 1A

Espécies de peixes recomendadas para os ensaios

Água doce
<i>Oncorhynchus mykiss</i>
Truta arco-íris (9) (16)
<i>Danio rerio</i>
Peixe-zebra (7) (17) (18)
<i>Cyprinus caprio</i>
Carpa (8) (19)
<i>Oryzias latipes</i>
Peixinho dos arrozais (20) (21)
<i>Pimephales promelas</i>
(8) (22)

Quadro 1B

Exemplos de outras espécies que também já foram utilizadas e sobre as quais existe documentação

Água doce	Água salgada
<i>Carassius auratus</i>	<i>Menidia peninsulae</i>
Pimão (8)	(23) (24) (25)
<i>Lepomis macrochirus</i>	<i>Clupea harengus</i>
(8)	Arenque (24) (2 5)
	<i>Gadus morhua</i>
	Bacalhau (24) (25)
	<i>Cyprinodon variegatus</i>
	(23) (24) (25)

Apêndice 1

ORIENTAÇÃO SOBRE A REALIZAÇÃO DE UM ENSAIO DE TOXICIDADE EM EMBRIÕES E RECÉM-NASCIDOS DE PEIXE-ZEBRA (*BRACHYDANIO RERIO*)

INTRODUÇÃO

O peixe-zebra é originário da costa Coromandel, na Índia, onde habita em riachos de correntes rápidas. É um peixe vulgar de aquário da família das carpas, sendo possível encontrar informação acerca dos procedimentos relativos ao seu tratamento e cultura em livros de referência sobre peixes tropicais. A sua biologia e utilização na investigação piscícola foram revistas por Laale (1).

O peixe raramente excede os 45 mm em comprimento. O corpo é cilíndrico com sete a nove riscas horizontais azul-escuro prateadas. Estas riscas prolongam-se pelas barbatanas ventrais e caudais. A região posterior é verde azeitona. Os machos são mais magros do que as fêmeas. As fêmeas são mais prateadas e o seu abdómen apresenta uma forma dilatada, particularmente antes da desova.

Os peixes adultos toleram grandes variações de temperatura, pH e dureza. No entanto, devem ser criadas condições óptimas para obter peixes saudáveis que produzam ovos de boa qualidade.

Durante a desova o macho persegue e atinge a fêmea, sendo os ovos fertilizados à medida que vão sendo expelidos. Os ovos, que são transparentes e não aderentes, caem para o fundo onde podem ser comidos pelos progenitores. A desova é influenciada pela luz. Se a luz da manhã for adequada, o peixe geralmente desova nas primeiras horas a seguir ao amanhecer.

Uma fêmea pode produzir semanalmente lotes de várias centenas de ovos.

CONDIÇÕES PARA OS PEIXES PROGENITORES, A REPRODUÇÃO E AS FASES INICIAIS DE VIDA

Seleccionar um número adequado de peixes saudáveis e mantê-los numa água adequada (nas condições descritas no apêndice 4, por exemplo) durante, pelo menos, duas semanas antes da desova pretendida. Deve permitir-se que o grupo de peixes se reproduza pelo menos uma vez antes de produzir o lote de ovos utilizados no ensaio. A densidade dos peixes durante este período não deve exceder 1 grama por litro. A mudança regular da água ou a utilização de sistemas de purificação permitirão que a densidade seja mais elevada. A temperatura nos tanques de conservação deve ser mantida a 25 ± 2 °C. Deve fornecer-se aos peixes uma dieta variada, que poderá consistir, por exemplo, em alimentos comerciais secos apropriados, larvas vivas recém-eclodidas, *Artemia*, *chironomus*, *Daphnia*, ou *Enchytraeus*.

São indicados em seguida dois procedimentos que, na prática, permitiram obter um lote de ovos fertilizados saudáveis adequado à realização de um ensaio:

- i) Colocam-se oito fêmeas e 16 machos num tanque contendo 50 litros de água de diluição, protegidos da luz directa e mantidos, tanto quanto possível, sem perturbações durante pelo menos 48 horas. Na tarde do dia anterior ao início do ensaio, coloca-se um tabuleiro de desova no fundo do aquário. O tabuleiro de desova consiste numa moldura de *plexi-glass* ou outro material adequado com 5 a 7 cm de altura, com uma rede grosseira de malha de 2 a 5 mm presa no topo, e uma rede fina (malha de 10 a 30 µm) no fundo. Prende-se à rede grosseira da estrutura uma série de «árvores de desova», que consistem em pedaços de corda de *nylon* desenrolada. Após o peixe ter permanecido num ambiente sem luz durante 12 horas, acende-se uma luz ténue que provocará o início da desova. Duas a quatro horas após a desova, remove-se o tabuleiro e recolhem-se os ovos. O tabuleiro de desova evitará que o peixe coma os ovos e, ao mesmo tempo, permitirá a sua fácil recolha. O grupo de peixes deverá ter desovado pelo menos uma vez antes da desova que originará os ovos a utilizar no ensaio;
- ii) Cinco a dez peixes machos e fêmeas são mantidos individualmente pelo menos duas semanas antes da desova pretendida. Após cinco a dez dias, o abdómen das fêmeas estará distendido e as suas papilas genitais visíveis. Os machos não têm papila. A desova é realizada em tanques de desova equipados com um fundo falso em rede (como descrito anteriormente). Enche-se o tanque com água de diluição, de modo a que a altura da água acima da rede seja de 5 a 10 cm. Colocam-se uma fêmea e dois machos no tanque um dia antes da desova pretendida. Aumenta-se gradualmente a temperatura da água um grau acima da temperatura de aclimatização. Apaga-se a luz e o tanque é mantido com a mínima perturbação possível. De manhã, acende-se uma luz ténue que irá provocar o início da desova. Após duas a quatro horas, removem-se os peixes e recolhem-se os ovos. Se uma só fêmea não produzir lotes com número suficiente de ovos, podem preparar-se, em paralelo, tantos tanques de desova quantos os necessários. Os registos sobre o nível de reprodução individual das fêmeas antes do ensaio (tamanho do lote e qualidade) poderão servir para seleccionar as fêmeas com maior sucesso reprodutivo.

Os ovos devem ser transferidos para os recipientes de ensaio utilizando tubos de vidro (com um diâmetro interno não inferior a 4 mm) adaptados a uma ampola de sucção flexível. A quantidade de água que acompanha os ovos aquando da sua transferência deverá ser reduzida ao mínimo possível. Os ovos são mais pesados do que a água e afundam-se caindo do tubo. Deve ter-se cuidado para evitar que os ovos (e as larvas) entrem em contacto com o ar. O exame microscópico de amostra(s) do(s) lote(s) deve ser realizado para assegurar que não há irregularidades nos primeiros estádios de desenvolvimento. Não é permitida a desinfecção dos ovos.

A taxa de mortalidade dos ovos é mais elevada durante as primeiras 24 horas após a fertilização, período durante o qual se observa, geralmente, uma taxa de mortalidade de 5 a 40 %, por cento. Os ovos degeneram em consequência do insucesso da fertilização ou de alteração no desenvolvimento. A qualidade do lote de ovos parece depender do peixe fêmea, uma vez que algumas fêmeas produzem consistentemente ovos de boa qualidade, enquanto que outras nunca o fazem. As taxas de desenvolvimento e de eclosão variam igualmente de lote para lote. Os ovos fertilizados com sucesso e as larvas com saco vitelino sobrevivem bem, normalmente com taxas acima dos 90 %. A 25 °C, os ovos eclodirão três a cinco dias após a fertilização e o saco vitelino será absorvido cerca de 13 dias após a fertilização.

O desenvolvimento embrionário foi descrito de forma muito completa por Hisaoka e Battle (2). Devido à transparência dos ovos e das larvas pós-eclosão, o desenvolvimento dos peixes pode ser seguido e a presença de malformações observada. Aproximadamente quatro horas após a desova, é possível distinguir os ovos fertilizados dos não fertilizados (3). Para efectuar este exame, os ovos e as larvas são colocados em recipientes de ensaio de pequeno volume e estudados ao microscópio.

As condições de ensaio aplicáveis às fases iniciais de vida encontram-se descritas no apêndice 2. Os valores óptimos para o pH e a dureza da água de diluição são, respectivamente, 7,8 e 250 mg CaCO₃/l.

CÁLCULOS E ESTATÍSTICA

Propõe-se uma abordagem em duas fases. Primeiro, são analisados estatisticamente os dados sobre a mortalidade, o desenvolvimento anómalo e o tempo de eclosão. Depois, para as concentrações em que não se detectaram efeitos adversos em quaisquer destes parâmetros, avalia-se estatisticamente o comprimento do corpo. Aconselha-se esta abordagem, uma vez que o produto tóxico pode matar selectivamente peixes menores, atrasar o tempo de eclosão e induzir malformações graves, conduzindo assim a desvios às medições de comprimento. Além disso, existirão aproximadamente o mesmo número de peixes a medir por tratamento, o que garante a validade da estatística do ensaio.

DETERMINAÇÃO DA CL₅₀ E DA CE₅₀

A percentagem de ovos e de larvas sobreviventes é calculada e corrigida para a mortalidade nos controlos, de acordo com a fórmula de Abbott (4):

$$P = 100 - \left(\frac{C - P}{C} \times 100 \right)$$

em que

P = % sobrevivência corrigida

P' = % sobrevivência observada com a concentração de ensaio

C = % sobrevivência no controlo

Se possível, a CL₅₀ deve ser determinada através de um método adequado no fim do ensaio.

Se for desejável incluir as anomalias morfológicas na estatística de CE₅₀, o trabalho de Stephan (5) poderá fornecer orientações úteis.

ESTIMATIVAS DA LOEC E NOEC

Um dos objectivos do ensaio em ovos e peixes recém-nascidos é comparar as concentrações diferentes de zero com o controlo, isto é, determinar a LOEC, pelo que deverão ser utilizados os métodos de comparação múltipla indicados nas obras de referência (6) (7) (8) (9) (10).

REFERÊNCIAS

- (1) Laale H. W. (1977). The Biology and Use of the Zebrafish (*Brachydanio rerio*) in Fisheries Research. A Literature Review. J. Fish Biol. 10, p. 121-173.

-
- (2) Hisaoka K. K. and Battle H. I. (1958). The Normal Development Stages of the Zebrafish *Brachydanio rerio* (Hamilton-Buchanan) J. Morph., 102, 311 p.
 - (3) Nagel R. (1986). Untersuchungen zur Eiproduktion beim Zebrabärbling (*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan). Journal of Applied Ichthyology, 2, p. 173-181.
 - (4) Finney D. J. (1971). Probit Analysis, 3rd ed., Cambridge University Press, Great Britain, p. 1-333.
 - (5) Stephan C. E. (1982). Increasing the Usefulness of Acute Toxicity Tests. Aquatic Toxicology and Hazard Assessment: Fifth Conference, ASTM STP 766, J. G. Pearson, R. B. Foster and W. E. Bishop, Eds., American Society for Testing and Materials, p. 69-81.
 - (6) Dunnett C. W. (1955). A Multiple Comparisons Procedure for Comparing Several Treatments with a Control. J. Amer. Statist. Assoc., 50, p. 1096-1121.
 - (7) Dunnett C. W. (1964). New Tables for Multiple Comparisons with a Control. Biometrics, 20, p. 482-491.
 - (8) Williams D. A. (1971). A Test for Differences Between Treatment Means when Several Dose Levels are Compared with a Zero Dose Control. Biometrics, 27, p. 103-117.
 - (9) Williams D. A. (1972). The Comparison of Several Dose Levels with a Zero Dose Control. Biometrics 28, p. 519-531.
 - (10) Sokal R. R. and Rohlf F. J. (1981). Biometry, the Principles and Practice of Statistics in Biological Research, W. H. Freeman and Co., San Francisco.
-

CONDIÇÕES DE ENSAIO, DURAÇÃO E CRITÉRIO DE SOBREVIVÊNCIA PARA AS ESPÉCIES RECOMENDADAS

Espécie	Temperatura (°C)	Salinidade (0/00)	Fotoperíodo (horas)	Duração dos estádios (dias)		Duração típica do ensaio	Taxa de sobrevivência nos controlos (mínima %)	
				Embriões	Recém-nascidos		Sucesso da eclosão	Pós-eclosão
ÁGUA DOCE								
<i>Brachydanio rerio</i> Peixe-zebra	25 ± 1	—	12-16	3-5	8-10	Tão cedo quanto possível após a fertilização (estádio de gástrula inicial) até cinco dias após a eclosão (8-10 dias)	80	90
<i>Oncorhynchus mykiss</i> Truta arco-íris	10 ± 1 ⁽¹⁾ 12 ± 1 ⁽²⁾	—	0 ^(a)	30-35	25-30	Tão cedo quanto possível após a fertilização (estádio de gástrula inicial) até 20 dias após a eclosão (50-55 dias)	66	70
<i>Cyprinus carpio</i> Carpa	21-25	—	12-16	5	> 4	Tão cedo quanto possível após a fertilização (estádio de gástrula inicial) até quatro dias após a eclosão (8-9 dias)	80	75
<i>Oryzias latipes</i> Peixinho dos arrozais	24 ± 1 ⁽¹⁾ 23 ± 1 ⁽²⁾	—	12-16	8-11	4-8	Tão cedo quanto possível após a fertilização (estádio de gástrula inicial) até cinco dias após a eclosão (13-16 dias)	80	80
<i>Pimephales promelas</i>	25 + 2	—	16	4-5	5	Tão cedo quanto possível após a fertilização (estádio de gástrula inicial) até quatro dias após a eclosão (8-9 dias)	60	70

⁽¹⁾ Para embriões.

⁽²⁾ Para larvas.

^(a) Escuridão para o embrião e as larvas até uma semana após a eclosão, excepto quando estes estão a ser inspeccionados. A partir daí, deve utilizar-se luz fraca ao longo do ensaio.

Condições de ensaio, duração e critérios de sobrevivência para outras espécies relativamente às quais existem trabalhos de referência

Espécie	Temperatura (DC)	Salinidade (0/00)	Fotoperíodo (horas)	Duração dos estádios (dias)		Duração típica do ensaio de embriões e recém-nascidos	Taxa de sobrevivência nos controlos (% mínima)	
				Embriões	Ensaio recém-nascidos		Sucesso da eclosão	Pós-eclosão
ÁGUA DOCE								
<i>Carassius auratus</i> Pimpão	24 ± 1	—	—	3-4	> 4	Tão cedo quanto possível após a fertilização (estádio de gástrula inicial) até quatro dias após a eclosão (sete dias)	—	80
<i>Leopomis macrochirus</i>	21 ± 1	—	16	3	> 4	Tão cedo quanto possível após a fertilização (estádio de gástrula inicial) até quatro dias após a eclosão (sete dias)	—	75
ÁGUA SALGADA								
<i>Menidia peninsulae</i>	22-25	15-22	12	1,5	10	Tão cedo quanto possível após a fertilização (estádio de gástrula inicial) até cinco dias após a eclosão (6-7 dias)	80	60
<i>Clupea harengus</i> Arenque	10 ± 1	8-15	12	20-25	3-5	Tão cedo quanto possível após a fertilização (estádio de gástrula inicial) até três dias após a eclosão (23-27 dias)	60	80
<i>Gadus morhua</i> Bacalhau	5 ± 1	5-30	12	14-16	3-5	Tão cedo quanto possível após a fertilização (estádio de gástrula inicial) até três dias após a eclosão (18 dias)	60	80
<i>Cyprinodon variegatus</i>	25 ± 1	15-30	12	—	—	Tão cedo quanto possível após a fertilização (estádio de gástrula inicial) até 4-7 dias após a eclosão (28 dias)	> 75	80

Apêndice 4

ALGUMAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE UMA ÁGUA DE DILUIÇÃO ACEITÁVEL

Substância	Concentrações
Partículas	< 20 mg/l
Carbono orgânico total	< 2 mg/l
Amónia não ionizada	< 1 µg/l
Cloro residual	< 10 µg/l
Total de pesticidas organofosforados	< 50 ng/l
Total de pesticidas organoclorados + bifenis policlorados	< 50 ng/l
Cloro orgânico total	< 25 ng/l

C.16. ABELHAS DOMÉSTICAS — ENSAIO DE TOXICIDADE ORAL AGUDA

1. MÉTODO

O presente método de ensaio de toxicidade aguda baseia-se na publicação OECD TG 213 (1998) (normas de ensaio da OCDE).

1.1. INTRODUÇÃO

O presente ensaio de toxicidade constitui um método laboratorial destinado a avaliar a toxicidade oral aguda de produtos fitofarmacêuticos e outras substâncias químicas para as abelhas domésticas obreiras adultas.

Os processos de avaliação e verificação das características tóxicas de substâncias podem exigir a determinação da toxicidade oral aguda para as abelhas domésticas. Esta situação verifica-se, por exemplo, quando há uma probabilidade de exposição de abelhas a um produto químico específico. O ensaio de toxicidade oral aguda permite determinar a toxicidade de pesticidas e outras substâncias químicas para as abelhas. Os seus resultados condicionarão a necessidade de efectuar ulteriores avaliações. O método é especialmente adequado para uso em programas passo-a-passo, destinados a avaliar os efeitos perigosos de pesticidas para as abelhas. Estes programas baseiam-se numa progressão sequencial de ensaios de toxicidade, que evolui de ensaios laboratoriais para experiências parcial ou totalmente realizadas no campo (1). Os pesticidas podem ser submetidos a ensaio sob a forma de substâncias activas (s.a.) ou de produtos formulados.

A sensibilidade das abelhas e o rigor do procedimento experimental devem ser verificados pela inclusão de um padrão tóxico nos ensaios.

1.2. DEFINIÇÕES

Toxicidade oral aguda: conjunto dos efeitos adversos que se manifestam num período máximo de 96 horas após a administração oral de uma dose única da substância de ensaio.

Dose: quantidade consumida da substância de ensaio. A dose é expressa em massa (μg) de substância de ensaio por animal ($\mu\text{g}/\text{abelha}$). O facto de as abelhas serem alimentadas de forma colectiva não permite calcular a dose efectiva por cada animal. No entanto, é possível determinar a dose média (massa total de substância em ensaio consumida/número de abelhas em ensaio em cada gaiola).

DL₅₀ (dose letal média) oral: dose única, calculada estatisticamente, de uma substância susceptível de causar a morte de 50 % dos animais quando administrada por via oral. O valor da DL₅₀ é expresso em μg de substância de ensaio por abelha. Em ensaios de pesticidas, a substância de ensaio pode ser uma substância activa (s.a.) ou um produto formulado, que contém uma ou várias substâncias activas.

Mortalidade: um animal é considerado morto quando permanece completamente imóvel.

1.3. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

O método baseia-se na exposição de abelhas domésticas (*Apis mellifera*) obreiras adultas a uma gama de doses da substância de ensaio dispersa numa solução de sacarose. Após a administração das doses, as abelhas são alimentadas com a mesma solução, sem a substância de ensaio. A mortalidade das abelhas é registada diariamente, num período nunca inferior a 48 horas, sendo depois comparada com valores de controlo. Caso a taxa de mortalidade aumente entre 24 e 48 horas após a administração das doses, mantendo-se a mortalidade dos controlos num nível aceitável (ou seja, $\leq 10\%$), o ensaio deverá ser prolongado até um máximo de 96 horas. Os resultados deverão ser analisados de forma a calcular a DL₅₀ às 24 horas e às 48 horas e, em caso de prolongamento do ensaio, às 72 horas e às 96 horas.

1.4. VALIDADE DO ENSAIO

O ensaio será considerado válido, desde que se verifiquem as seguintes condições:

- a mortalidade média na totalidade dos controlos no final do ensaio não deverá ser superior a 10 %,
- a DL₅₀ do padrão tóxico deverá enquadrar-se na gama de concentrações especificada.

1.5. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.5.1. Recolha de abelhas

O ensaio deve ser realizado com obreiras adultas jovens da mesma raça, isto é, abelhas da mesma idade, em idênticas condições de alimentação, etc. As abelhas devem provir de colónias governadas por rainhas, bem alimentadas, saudáveis, tanto quanto possível isentas de doenças e com historial e estado fisiológico conhecidos. As abelhas podem ser recolhidas na manhã do dia do ensaio ou na noite anterior, desde que permaneçam nas condições de ensaio até à realização deste. Consideram-se adequadas para o ensaio as abelhas recolhidas de favos sem postura. Devido ao facto de as abelhas sofrerem alterações fisiológicas no início da Primavera e no final do Outono, deverão evitar-se recolhas durante estes períodos. Caso seja necessário realizar ensaios nestas épocas do ano, podem usar-se abelhas eclodidas numa incubadora e alimentadas com pólen colhido da colmeia e solução de sacarose durante uma semana. As abelhas tratadas com substâncias químicas (tais como antibióticos, produtos varroacidas, etc.) não devem ser usadas em ensaios de toxicidade até quatro semanas após o final do último tratamento.

1.5.2. Condições de alojamento e alimentação

Devem usar-se gaiolas bem ventiladas e fáceis de limpar. As gaiolas podem ser construídas com quaisquer materiais apropriados, tais como aço inoxidável, tela de arame ou plástico. Podem ainda ser usadas gaiolas de madeira descartáveis. Por norma, cada gaiola deverá conter, de preferência, um grupo de dez abelhas. As gaiolas usadas nos ensaios devem possuir dimensões adequadas ao número de abelhas a alojar, de modo a proporcionarem espaço suficiente.

As abelhas devem ser mantidas no escuro, numa sala de ensaios, à temperatura de 25 ± 2 °C. A humidade relativa, normalmente de cerca de 50-70 %, deverá ser registada ao longo do ensaio. Os procedimentos de manipulação, incluindo o tratamento e as observações, poderão ser efectuados com iluminação (natural). As abelhas são alimentadas com uma solução aquosa de sacarose a uma concentração de 500 g/l (50 % p/v). Após a administração das doses de ensaio, as abelhas devem dispor de alimento *ad libitum*. Deve usar-se um sistema de alimentação que permita registar a quantidade de alimento consumido em cada gaiola (ver ponto 1.6.3.1). Para tal, pode utilizar-se um tubo de vidro, com cerca de 50 mm de comprimento e 10 mm de largura e a extremidade aberta estreitada para cerca de 2 mm de diâmetro.

1.5.3. Preparação das abelhas

As abelhas recolhidas são distribuídas aleatoriamente por gaiolas de ensaio, as quais, por sua vez, são dispostas ao acaso na sala de ensaios.

Antes do ensaio, as abelhas podem ser privadas de alimento por um período não superior a duas horas. Este tratamento é recomendável, uma vez que assegura que, no início do ensaio, todas as abelhas se encontram em idênticas condições no que respeita ao conteúdo intestinal. Antes de dar início ao ensaio, as abelhas moribundas devem ser retiradas e substituídas por abelhas saudáveis.

1.5.4. Preparação das doses

Caso a substância a testar seja miscível com água, poderá ser directamente dispersa numa solução de sacarose a 50 %. No caso de produtos industriais e substâncias de baixa solubilidade em água, podem usar-se outros veículos, tais como solventes orgânicos, emulsionantes ou dispersantes de baixa toxicidade para as abelhas (por exemplo, acetona, dimetilformamida, dimetilsulfóxido). A concentração do veículo depende da solubilidade da substância de ensaio, devendo ser idêntica para todas as concentrações testadas. Na generalidade dos casos, é adequado utilizar (e não ultrapassar) uma concentração de 1 %.

Devem preparar-se as soluções de controlo apropriadas, ou seja, utilizando um solvente ou dispersante para tornar a substância de ensaio solúvel. Assim, deverão ser administradas, a dois grupos de controlo distintos, duas soluções: uma em água e outra em água com sacarose, ambas contendo o solvente/veículo na mesma concentração que as soluções de dosagem.

1.6. PROCEDIMENTO

1.6.1. Grupos de ensaio e de controlo

O número de doses e de repetições usado no ensaio deverá satisfazer os requisitos estatísticos para a determinação das DL_{50} , com limites de confiança de 95 %. De uma forma geral, é necessário usar cinco doses em série geométrica, com um factor não superior a 2,2 e cobrindo uma gama de concentrações que abranja a DL_{50} . No entanto, o factor de diluição e o número de concentrações por dosagem deverão ser determinados em função do declive da curva de toxicidade (dose versus mortalidade) e tomando em consideração o método estatístico adoptado para a análise dos resultados. Um ensaio de determinação de gama de concentrações permitirá escolher as concentrações apropriadas para a dosagem.

Cada concentração a testar deve ser aplicada em, pelo menos, três grupos idênticos, cada um constituído por 10 abelhas. Além da série em ensaio, devem ser testados pelo menos três grupos de controlo, formados por 10 abelhas cada um. Devem ainda ser incluídos os grupos de controlo apropriados para os solventes/veículos usados (ver ponto 1.5.4).

1.6.2. Padrão tóxico

A série em ensaio deve incluir um padrão tóxico. Devem seleccionar-se pelo menos três doses deste padrão, de modo a abranger o valor previsto para a DL_{50} . Para cada dose de ensaio, devem usar-se, pelo menos, três gaiolas idênticas, cada uma contendo dez abelhas. O padrão tóxico mais vulgarmente utilizado é o dimetoato. A DL_{50} oral às 24 horas descrita para este composto situa-se na gama de 0,10 a 0,35 µg s.a./abelha (2). No entanto, podem ser usados outros padrões tóxicos, desde que existam dados suficientes para verificar a resposta prevista à dose administrada (por exemplo, paratião).

1.6.3. Exposição

1.6.3.1. Administração de doses

A cada grupo de abelhas em ensaio, devem ser administrados 100-200 µl de solução aquosa de sacarose a 50 %, contendo a substância de ensaio na concentração apropriada. No ensaio de produtos de baixa solubilidade, toxicidade ou concentração no preparado, será necessário aumentar a proporção dos mesmos na solução de sacarose e utilizar volumes superiores. Deverá controlar-se a quantidade de solução tratada, consumida por cada grupo. Uma vez consumido o alimento tratado (normalmente num período de três a quatro horas), o sistema de alimentação deve ser retirado da gaiola e substituído por outro contendo apenas solução de sacarose, a qual deverá ser fornecida então *ad libitum*. Em alguns casos, poderá ocorrer a rejeição das doses correspondentes às concentrações mais elevadas da de ensaio, o que terá como resultado um consumo de alimento reduzido ou nulo. Após um lapso máximo de seis horas, a solução tratada que não tenha sido consumida deverá ser substituída pela solução de sacarose sem aditivos. Deve avaliar-se a quantidade da solução tratada consumida, medindo, por exemplo, o volume ou o peso da solução não consumida.

1.6.3.2. Duração

O ensaio deverá prolongar-se, de preferência, até 48 horas após a substituição da solução em ensaio pela solução de sacarose sem aditivos. Se, após as primeiras 24 horas, a mortalidade continuar a aumentar em mais de 10 %, o ensaio deverá ser prolongado até um máximo de 96 horas, desde que a mortalidade nos controlos não exceda 10 %.

1.6.4. Observações

Devem efectuar-se registos de mortalidade decorridas quatro horas, 24 horas e 48 horas após o início do ensaio (ou seja, após a administração da dose). Em caso de prolongamento do período de observação, deverão realizar-se avaliações suplementares a intervalos de 24 horas, até um máximo de 96 horas, desde que a mortalidade dos grupos de controlo não exceda 10 %.

Deverá ser determinada a quantidade de solução consumida por cada grupo. A comparação entre as taxas de consumo de solução tratada e não tratada durante o período de seis horas em que esta é fornecida aos animais poderá dar informações sobre a palatabilidade do alimento tratado.

Deverão ser objecto de registo todas as eventuais anomalias de comportamento verificadas durante o período do ensaio.

1.6.5. Teste-limite

Em determinadas circunstâncias (por exemplo, quando se prevê que a substância de ensaio apresente um baixo nível de toxicidade), pode efectuar-se um teste-limite, usando 100 µg s.a./abelha, de forma a certificar-se de que a DL_{50} é superior a este valor. Deve seguir-se um procedimento idêntico ao descrito acima, incluindo o uso de três grupos duplicados para a dose de ensaio, a realização dos controlos relevantes e a avaliação da quantidade de alimento tratado consumida, assim como o uso de um padrão tóxico. Se ocorrer mortalidade, deverá realizar-se um estudo completo. Todos os efeitos subletais, caso existam, deverão ser registados (ver ponto 1.6.4).

2. DADOS E RELATÓRIO

2.1. DADOS

Os dados devem ser resumidos num quadro, indicando, para cada grupo em tratamento (e para os grupos de controlo e os associados ao padrão tóxico), o número de abelhas usado e a mortalidade em cada momento de observação, bem como o número de abelhas que apresentam um comportamento anómalo. Os dados relativos à mortalidade devem ser analisados mediante métodos estatísticos adequados (por exemplo, análise probit, média móvel, teoria do binómio relativamente à probabilidade) (3) (4). Devem ser traçadas curvas dose-resposta para cada tempo de observação recomendado, procedendo-se depois ao cálculo dos respectivos declives e à determinação das doses letais médias (DL_{50}) com limites de confiança de 95 %. Podem efectuar-se correcções na mortalidade dos grupos de controlo, usando os valores de correcção de Abbott (4) (5). Nos casos em que o alimento tratado não tenha sido totalmente consumido, deverá determinar-se a dose de substância de ensaio consumida por cada grupo. A DL_{50} deverá ser expressa em µg de substância de ensaio por abelha.

2.2. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deverá incluir as seguintes informações:

2.2.1. Substância de ensaio:

- natureza física e propriedades físico-químicas relevantes (por exemplo, estabilidade na água, pressão de vapor),
- dados de identificação química, incluindo a fórmula estrutural, o grau de pureza [ou seja, no caso de pesticidas, a identidade e a concentração da(s) substância(s) activa(s)].

2.2.2. Espécies submetidas a ensaio:

- nome científico, estirpe, idade aproximada (em semanas), método de recolha, data da recolha,
- dados informativos sobre as colónias usadas para recolha das abelhas submetidas a ensaio, incluindo o estado de saúde, a ocorrência de doenças de adultos, eventuais tratamentos previamente aplicados, etc.

2.2.3. Condições do ensaio:

- temperatura e humidade relativa da sala de ensaios,
- condições de alojamento, incluindo o tipo, as dimensões e o material de construção das gaiolas,
- métodos de preparação das soluções-mãe e soluções de ensaio (em caso de utilização de um solvente não aquoso, deve indicar-se a sua natureza e a respectiva concentração),
- planeamento do ensaio, ou seja, o número de concentrações de ensaio e os respectivos valores, bem como o número de controlos; para cada concentração de ensaio e para cada controlo, deverá indicar-se o número de gaiolas em duplicado e o número de abelhas em cada uma delas,
- data do ensaio.

2.2.4. Resultados:

- em caso de realização de um estudo preliminar para determinação da gama de concentrações de ensaio, os respectivos resultados,
- dados não processados: mortalidade correspondente a cada dose de ensaio em cada momento de observação,
- representação gráfica das curvas dose-resposta no final do ensaio,
- valores DL₅₀ com limites de confiança de 95 %, para cada período de observação recomendado, tanto para a substância de ensaio, como para o padrão tóxico,
- tratamentos estatísticos usados para a determinação da DL₅₀,
- mortalidade nos controlos,
- outros efeitos biológicos observados ou medidos, como, por exemplo, anomalias no comportamento das abelhas (incluindo rejeição da dose de ensaio), taxa de consumo de alimento em grupos tratados e em grupos não tratados,
- qualquer desvio em relação aos procedimentos aqui descritos, assim como quaisquer outras informações relevantes.

3. REFERÊNCIAS

- (1) EPPO/Council of Europe (1993). Decision-Making Scheme for the Environmental Risk Assessment of Plant Protection Products — Honeybees. EPPO Bulletin, Vol. 23, N.1, p. 151-165. March 1993.

-
- (2) Gough, H. J., McIndoe, E.C., Lewis, G.B. (1994). The use of dimethoate as a reference compound in laboratory acute toxicity tests on honeybees (*Apis mellifera* L.) 1981-1992. Journal of Apicultural Research, 22, p. 119-125.
 - (3) Litchfield, J.T. and Wilcoxon, F. (1949). A simplified method of evaluating dose-effect experiments. Jour. Pharmacol. and Exper. Ther., 96, p. 99-113.
 - (4) Finney, D. J. (1971). Probit Analysis. 3rd ed., Cambridge, London and New York.
 - (5) Abbott, W. S. (1925). A method for computing the effectiveness of an insecticide. Jour. Econ. Entomol., 18, p. 265-267.

C.17. ABELHAS DOMÉSTICAS — ENSAIO DE TOXICIDADE AGUDA POR CONTACTO

1. MÉTODO

O presente método de ensaio de toxicidade aguda baseia-se na publicação OECD TG 214 (1998) (normas de ensaio da OCDE).

1.1. INTRODUÇÃO

O presente ensaio de toxicidade constitui um método laboratorial, destinado a avaliar a toxicidade aguda por contacto de produtos fitofarmacêuticos e outras substâncias químicas para as abelhas domésticas obreiras adultas.

Os processos de avaliação e verificação das características tóxicas de substâncias podem exigir a determinação da toxicidade aguda por contacto para as abelhas domésticas. Esta situação verifica-se, por exemplo, quando há a probabilidade de exposição de abelhas a um produto químico específico. O ensaio de toxicidade aguda por contacto permite determinar a toxicidade de pesticidas e outras substâncias químicas para as abelhas. Os seus resultados condicionarão a necessidade de efectuar ulteriores avaliações. O método é especialmente adequado para uso em programas passo-a-passo, destinados a avaliar os efeitos perigosos de pesticidas para as abelhas. Estes programas baseiam-se numa progressão sequencial de ensaios de toxicidade, que evolui de ensaios laboratoriais para experiências parcial ou totalmente realizadas no campo (1). Os pesticidas podem ser submetidos a ensaio sob a forma de substâncias activas (s.a.) ou de produtos formulados.

A sensibilidade das abelhas e o rigor do procedimento experimental devem ser verificados pela inclusão de um padrão tóxico nos ensaios.

1.2. DEFINIÇÕES

Toxicidade aguda por contacto: conjunto dos efeitos adversos que se manifestam num período máximo de 96 horas após a aplicação tópica de uma dose única de uma substância.

Dose: quantidade aplicada da substância de ensaio. O valor da dose é expresso em massa (μg) de substância de ensaio por animal ($\mu\text{g}/\text{abelha}$).

DL₅₀ (dose letal média) por contacto: dose única, calculada estatisticamente, de uma substância susceptível de causar a morte de 50 % dos animais quando administrada por contacto. O valor da DL₅₀ é expresso em μg de substância de ensaio por abelha. Em ensaios de pesticidas, a substância de ensaio pode ser uma substância activa (s.a.) ou um produto formulado, contendo uma ou várias substâncias activas.

Mortalidade: um animal é considerado morto quando permanece completamente imóvel.

1.3. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

O método baseia-se na exposição de abelhas domésticas (*Apis mellifera*) obreiras adultas a uma gama de doses da substância de ensaio dissolvida num veículo adequado e aplicada directamente no tórax (em gotículas). O ensaio tem a duração de 48 horas. Caso a taxa de mortalidade aumente entre 24 e 48 horas após a aplicação das doses, mantendo-se a mortalidade dos controlos num nível aceitável (ou seja, < 10 %), o ensaio deverá ser prolongado até um máximo de 96 horas. A mortalidade das abelhas é registada diariamente e comparada com valores de controlo. Os resultados deverão ser analisados de forma a calcular a DL₅₀ às 24 horas e às 48 horas e, em caso de prolongamento do ensaio, às 72 horas e às 96 horas.

1.4. VALIDADE DO ENSAIO

O ensaio será considerado válido, desde que se verifiquem as seguintes condições:

- a mortalidade média na totalidade dos controlos no final do ensaio não deverá ser superior a 10 %,
- a DL₅₀ do padrão tóxico deverá enquadrar-se na gama de concentrações especificada.

1.5. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.5.1. Recolha de abelhas

O ensaio deve ser realizado com obreiras adultas jovens, ou seja, abelhas da mesma idade, em idênticas condições de alimentação, raça idêntica, etc. As abelhas devem provir de colónias governadas por rainhas, bem alimentadas, saudáveis, tanto quanto possível isentas de doenças e com historial e estado fisiológico conhecidos. As abelhas podem ser recolhidas na manhã do dia do ensaio ou na noite anterior, desde que se mantenham nas condições de ensaio até à sua realização. Consideram-se adequadas para o ensaio as abelhas recolhidas de favos sem postura. Devido ao facto de as abelhas sofrerem alterações fisiológicas no início da Primavera e no final do Outono, deverão evitar-se recolhas durante estes períodos. Caso seja necessário realizar ensaios nestas épocas do ano, podem usar-se abelhas eclodidas numa incubadora e alimentadas durante uma semana com pólen colhido da colmeia e solução de sacarose. As abelhas tratadas com substâncias químicas (tais como antibióticos, produtos varroacidas, etc.) não devem ser usadas para ensaios de toxicidade até quatro semanas após o final do último tratamento.

1.5.2. Condições de alojamento e alimentação

Devem usar-se gaiolas bem ventiladas e fáceis de limpar. As gaiolas podem ser construídas com quaisquer materiais apropriados, tais como aço inoxidável, tela de arame ou plástico. Podem ainda ser usadas gaiolas de madeira descartáveis. As gaiolas usadas nos ensaios devem possuir dimensões adequadas ao número de abelhas a alojar, de modo a proporcionarem espaço suficiente. Por norma, cada gaiola deverá conter um grupo de dez abelhas.

As abelhas devem ser mantidas no escuro, numa sala de ensaios, à temperatura de 25 ± 2 °C. A humidade relativa, normalmente de cerca de 50-70 %, deverá ser registada ao longo do ensaio. Os procedimentos de manipulação, incluindo o tratamento e as observações, poderão ser efectuados com iluminação (natural). As abelhas são alimentadas com uma solução aquosa de sacarose a uma concentração de 500 g/l (50 % p/v), que deve ser fornecida *ad libitum* durante todo o ensaio por meio de um sistema de alimentação de abelhas. Para tal, pode utilizar-se um tubo de vidro com cerca de 50 mm de comprimento e 10 mm de largura e a extremidade aberta estreitada para cerca de 2 mm de diâmetro.

1.5.3. Preparação das abelhas

Para a aplicação da substância de ensaio, as abelhas recolhidas são anestesiadas, podendo usar-se dióxido de carbono ou azoto para o efeito. Deverá minimizar-se a quantidade usada e o tempo de exposição ao anestésico. Antes de dar início ao ensaio, as abelhas moribundas devem ser retiradas e substituídas por abelhas saudáveis.

1.5.4. Preparação das doses

A substância de ensaio deverá ser aplicada na forma de solução num veículo, ou seja, num solvente orgânico ou numa solução aquosa contendo um agente molhante. O solvente orgânico mais vulgarmente utilizado é a acetona. No entanto, podem utilizar-se outros compostos de baixa toxicidade para as abelhas, como, por exemplo, dimetilformamida ou dimetilsulfóxido. A aplicação de produtos formulados dispersos em água ou de substâncias orgânicas de elevada polaridade insolúveis em solventes orgânicos pode tornar-se mais fácil se as respectivas soluções forem preparadas numa solução diluída de um agente molhante comercial (por exemplo, Agrai, Cittowett, Lubrol, Triton ou Tween).

As soluções de controlo devem ser preparadas de forma adequada, isto é, utilizando um solvente ou dispersante para tornar a substância de ensaio solúvel. Deverão ser utilizados dois grupos de controlo distintos, um tratado com água e o outro com o solvente ou dispersante.

1.6. PROCEDIMENTO

1.6.1. Grupos de ensaio e de controlo

O número de doses e repetições usados no ensaio deverá satisfazer os requisitos estatísticos para a determinação da DL_{50} , com limites de confiança de 95 %. De uma forma geral, é necessário usar cinco doses em série geométrica, com um factor não superior a 2,2 e cobrindo uma gama de concentrações que abranja a DL_{50} . No entanto, o número de doses deverá ser determinado em função do declive da curva de toxicidade (dose versus mortalidade) e tendo em consideração o método estatístico adoptado para a análise dos resultados. Um ensaio de determinação de gama de concentrações permitirá escolher as doses apropriadas.

Cada concentração de ensaio deve ser aplicada em, pelo menos, três grupos idênticos, cada um constituído por dez abelhas.

Além da série em ensaio, devem ser testados pelo menos três grupos de controlo, cada um formado por dez abelhas. Sempre que se utilize um solvente orgânico ou um agente molhante, deverão ser incluídos três grupos de controlo adicionais para estas substâncias, constituídos por dez abelhas cada.

1.6.2. Padrão tóxico

A série em ensaio deve incluir um padrão tóxico. Devem seleccionar-se pelo menos três doses deste padrão, de modo a abranger o valor previsto para a DL_{50} . Para cada dose de ensaio, devem usar-se pelo menos três gaiolas, cada uma contendo dez abelhas. O padrão tóxico mais vulgarmente utilizado é o dimetoato. A DL_{50} por contacto às 24 horas descrita para este composto situa-se na gama de 0,10 a 0,30 µg s.a./abelha (2). No entanto, podem ser usados outros padrões tóxicos, desde que existam dados suficientes para verificar a resposta prevista à dose aplicada (por exemplo, paratião).

1.6.3. Exposição**1.6.3.1. Administração de doses**

As abelhas anestesiadas são tratadas individualmente por aplicação tópica. As diferentes doses de ensaio e os controlos são distribuídos de forma aleatória pelas abelhas. As doses são aplicadas com o auxílio de um microaplicador no lado dorsal do tórax de cada abelha, em alíquotas de 1 µl de uma solução contendo a substância de ensaio na concentração apropriada. Caso se justifique, poderão ser usados outros volumes. Após a aplicação, as abelhas são colocadas em gaiolas de ensaio e alimentadas com soluções de sacarose.

1.6.3.2. Duração

O ensaio deverá durar, de preferência, 48 horas. Caso a mortalidade aumente em mais de 10 % entre 24 e 48 horas após a aplicação, o ensaio deverá ser prolongado até um máximo de 96 horas, desde que a mortalidade nos controlos não exceda 10 %.

1.6.4. Observações

Devem efectuar-se registos de mortalidade decorridas quatro, 24 e 48 horas após o início do ensaio. Em caso de prolongamento do período de observação, deverão realizar-se avaliações suplementares com intervalos de 24 horas, até um máximo de 96 horas, desde que a mortalidade dos grupos de controlo não exceda 10 %.

Deverão ser objecto de registo todas as eventuais anomalias de comportamento verificadas durante o período do ensaio.

1.6.5. Teste-limite

Em determinadas circunstâncias (por exemplo, quando se prevê que a substância de ensaio apresente um baixo nível de toxicidade), pode efectuar-se um teste-limite, usando 100 µg s.a./abelha, de forma a certificar-se de que a DL_{50} é superior a este valor. Deve seguir-se um procedimento semelhante ao descrito acima, incluindo o uso de três grupos duplicados para a dose de ensaio e a realização dos controlos relevantes, assim como o uso de um padrão tóxico. Se ocorrer mortalidade, deverá realizar-se um estudo completo. Todos os efeitos subletais, caso existam, deverão ser registados (ver ponto 1.6.4).

2. DADOS E RELATÓRIO**2.1. DADOS**

Os dados devem ser resumidos num quadro, indicando, para cada grupo de tratamento (e para os grupos de controlo e os associados ao padrão tóxico), o número de abelhas usadas e a mortalidade em cada momento de observação, bem como o número de abelhas que apresentam um comportamento anómalo. Os dados de mortalidade devem ser analisados mediante métodos estatísticos adequados (por exemplo, análise probit, média móvel, teoria do binómio relativa à probabilidade) (3) (4). Devem ser traçadas curvas dose-resposta para cada tempo de observação recomendado (ou seja, 24 horas, 48 horas e, se for relevante, 72 horas e 96 horas), procedendo-se depois ao cálculo dos respectivos declives e à determinação das doses letais médias (DL_{50}) com limites de confiança de 95 %. Podem efectuar-se correcções na mortalidade dos controlos, usando os valores de correcção de Abbott (4) (5). A DL_{50} deverá ser expressa em µg de substância de ensaio por abelha.

2.2. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deverá incluir as seguintes informações:

2.2.1. Substância de ensaio:

- natureza física e propriedades físico-químicas (por exemplo, estabilidade na água, pressão de vapor),
- dados de identificação química, incluindo a fórmula estrutural, o grau de pureza [ou seja, no caso de pesticidas, a identidade e a concentração da(s) substância(s) activa(s)].

2.2.2. Espécies submetidas a ensaio:

- nome científico, raça, idade aproximada (em semanas), método de recolha, data da recolha,
- dados informativos sobre as colónias usadas para recolha das abelhas submetidas a ensaio, incluindo o estado de saúde, a ocorrência de doenças de adultos, eventuais tratamentos previamente aplicados, etc.

2.2.3. Condições do ensaio:

- temperatura e humidade relativa da sala de ensaios,
- condições de alojamento, incluindo o tipo, as dimensões e o material de construção das gaiolas,
- métodos de administração da substância de ensaio (indicando, por exemplo, o solvente usado como veículo, o volume aplicado da solução de ensaio e os anestésicos usados),
- planeamento do ensaio, ou seja, o número de doses de ensaio e as respectivas concentrações, bem como o número de controlos; para cada dose de ensaio e para cada controlo, deverá indicar-se o número de gaiolas em duplicado e o número de abelhas em cada uma delas,
- data do ensaio.

2.2.4. Resultados:

- em caso de realização de um estudo preliminar para determinação da gama de concentrações de ensaio, os respectivos resultados,
- dados não processados: mortalidade correspondente a cada concentração de ensaio em cada momento de observação,
- representação gráfica das curvas dose-resposta no final do ensaio,
- valores de DL_{50} , com limites de confiança de 95 %, para cada período de observação recomendado, tanto para a substância de ensaio, como para o padrão tóxico,
- tratamentos estatísticos usados para a determinação da DL_{50} ,
- mortalidade nos controlos,
- outros efeitos biológicos observados ou medidos e qualquer reacção anormal das abelhas,
- qualquer desvio em relação aos procedimentos aqui descritos, assim como quaisquer outras informações relevantes.

3. REFERÊNCIAS

- (1) EPPO/Council of Europe (1993). Decision-Making Scheme for the Environmental Risk Assessment of Plant Protection Products — Honeybees. EPPO bulletin, Vol. 23, N.1, p. 1 51-165. March 1993.
- (2) Gough, H. J., McIndoe, E. C, Lewis, G. B. (1994). The use of dimethoate as a reference compound in laboratory acute toxicity tests on honeybees (*Apis mellifera* L.), 1981-1992. Journal of Apicultural Research 22, p. 119-125.
- (3) Litchfield, J. T. and Wilcoxon, F. (1949). A simplified method of evaluating dose-effect experiments. Jour. Pharmacol. and Exper. Ther., 96, p. 99-11 3.
- (4) Finney, D. J. (1971). Probit Analysis. 3rd ed., Cambridge, London and New York.
- (5) Abbott, W. S. (1925). A method for computing the effectiveness of an insecticide. Jour. Econ. Entomol. 18, p. 265-267.

C.18. ADSORÇÃO/DESSORÇÃO POR RECURSO A UM MÉTODO DE EQUILÍBRIO POR LOTES DE SOLOS**1. MÉTODO**

O presente método é uma reprodução do método OCDE TG 106, para a determinação da adsorção/dessorção em solos por recurso a um método de equilíbrio por lotes (2000).

1.1. INTRODUÇÃO

O presente método baseia-se em ensaios específicos, bem como nos resultados de um seminário (*workshop*) para a selecção de solos, com vista ao desenvolvimento de um ensaio de adsorção (1) (2) (3) (4). O método tem também em conta as directrizes em vigor a nível nacional (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11).

Os estudos de adsorção/dessorção permitem obter informações essenciais sobre a mobilidade dos produtos químicos e sua distribuição nos diversos componentes da biosfera (edáfico, aquático e atmosférico) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19) (20) (21). As informações recolhidas podem ser utilizadas na previsão ou estimativa, nomeadamente, da disponibilidade de uma substância química para degradação (22) (23), transformação e absorção pelos organismos vivos (24), do perfil de lixiviação pelos solos (16) (18) (19) (21) (25) (26) (27) (28), da volatilidade nos solos (21) (29) (30) e da transferência da superfície de solos para águas naturais (18) (31) (32). Os dados de adsorção podem ser utilizados para fins comparativos, bem como de modelização (19) (33) (34) (35).

A distribuição de uma substância química entre o solo e uma fase aquosa constitui um processo complexo que depende de diversos factores, designadamente a natureza química da substância (12) (36) (37) (38) (39) (40), as características do solo (4) (12) (13) (14) (41) (42) (43) (44) (45) (46) (47) (48) (49) e factores climáticos tais como a pluviosidade, a temperatura, a exposição ao sol e os ventos. Deste modo, os numerosos fenómenos e mecanismos envolvidos no processo de adsorção de uma substância pelo solo não podem ser totalmente definidos por um modelo laboratorial simplificado do tipo descrito no presente método. Todavia, embora a presente contribuição não abranja todos os casos possíveis no domínio ambiental, fornece informações valiosas sobre o impacto ambiental da adsorção de uma substância.

Ver também a introdução geral.

1.2. ÂMBITO

O presente método visa determinar o comportamento de uma substância no solo em termos de adsorção/dessorção. O objectivo consiste em obter um parâmetro que possa ser utilizado para prever a partição em diversas condições ambientais; para tal, determinam-se os coeficientes de adsorção em equilíbrio de um produto químico em vários solos, em função das características destes últimos (por exemplo, teor de carbono orgânico, teor de argila, textura e pH). Devem utilizar-se diferentes tipos de solos, de modo a abranger tanto quanto possível as interacções de uma determinada substância com solos de ocorrência natural.

No presente método, a adsorção é entendida como o processo de ligação de uma substância à superfície dos solos, não se efectuando qualquer distinção entre os diversos processos de adsorção (adsorção física e química), bem como entre os processos de degradação superficial catalisada, adsorção na massa e reacção química. Não é tida em conta a adsorção em partículas coloidais (diâmetro < 0,2 µm) produzidas nos solos.

Os parâmetros referentes ao solo considerados mais importantes no contexto da adsorção são os seguintes: teor de carbono orgânico (3) (4) (12) (13) (14) (41) (43) (44) (45) (46) (47) (48), teor de argila e textura dos solos (3) (4) (41) (42) (43) (44) (45) (46) (47) (48) e pH, no caso de compostos ionizáveis (3) (4) (42). Outros parâmetros que podem apresentar um impacto na adsorção-dessorção do solo são a capacidade de permuta catiónica efectiva (EHC), o teor de ferro amorfo e de óxidos de alumínio, em especial em solos vulcânicos e tropicais (4), bem como a superfície específica (49).

O ensaio foi concebido para avaliar a adsorção de uma substância em vários tipos de solos, com diversos teores de carbono orgânico, argila, textura e pH, sendo constituído por três fases:

Fase 1: Estudo preliminar para a determinação:

- da razão solo/solução,
- do tempo necessário para atingir o equilíbrio de adsorção, bem como da quantidade de substância teste adsorvida no estado de equilíbrio,
- da adsorção da substância em estudo na superfície dos recipientes de ensaio, bem como da estabilidade da substância durante o período de ensaio.

Fase 2: Ensaio de selecção: estuda-se a cinética de adsorção a concentração constante em cinco tipos diferentes de solos, determinando-se os coeficientes de distribuição K_d e K_{oc} .

Fase 3: Determinação das isotérmicas de adsorção de Freundlich, de modo a avaliar a influência da concentração na extensão da adsorção nos solos.

Estudo da dessorção através da respectiva cinética, bem como das isotérmicas de dessorção de Freundlich (apêndice 1).

1.3. DEFINIÇÕES E UNIDADES

Símbolo	Definição	Unidades
A_{t_i}	percentagem de adsorção no instante t_i	%
A_{eq}	percentagem de adsorção no estado de equilíbrio de adsorção	%
$m_s^{ads}(t_i)$	massa de substância em estudo adsorvida no solo no instante t_i	μg
$m_s^{ads}(\Delta t_i)$	massa de substância em estudo adsorvida no solo no intervalo de tempo Δt_i	μg
$m_s^{ads}(eq)$	massa de substância em estudo adsorvida no solo no estado de equilíbrio de adsorção	μg
m_0	massa de substância em estudo no recipiente de ensaio, no início do mesmo	μg
$m_m^{ads}(t_i)$	massa de substância em estudo determinada numa alíquota (v_a^A) no instante t_i	μg
$m_{aq}^{ads}(eq)$	massa de substância em estudo na solução, no estado de equilíbrio de adsorção	μg
m_{solo}	quantidade de fase edáfica, expressa em massa seca	g
C_{st}	concentração mássica da solução-mãe da substância	$\mu\text{g cm}^{-3}$
C_0	concentração mássica inicial da solução de ensaio em contacto com o solo	$\mu\text{g cm}^{-3}$
$C_{aq}^{ads}(t_i)$	concentração mássica da substância na fase aquosa no instante t_i em que a análise é efectuada	$\mu\text{g cm}^{-3}$
$C_s^{ads}(eq)$	teor de substância adsorvida no solo no estado de equilíbrio de adsorção	$\mu\text{g g}^{-1}$
$C_{aq}^{ads}(eq)$	concentração mássica da substância na fase aquosa no estado de equilíbrio de adsorção	$\mu\text{g cm}^{-3}$
V_0	volume inicial da fase aquosa em contacto com o solo durante o ensaio de adsorção	cm^3
v_a^A	volume da alíquota em que se determina a substância de ensaio	cm^3
	coeficiente de distribuição da adsorção	$\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$
	coeficiente de adsorção normalizado relativo ao carbono orgânico	$\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$
	coeficiente de adsorção normalizado da matéria orgânica	$\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$
K_F^{ads}	coeficiente de adsorção de Freundlich	μg^{-1}
$1/n$	expoente de Freundlich	
D_{t_i}	percentagem de dessorção no instante t_i	%
$D_{\Delta t_i}$	percentagem de dessorção no intervalo Δt_i	%
K_{des}	coeficiente de dessorção aparente	$\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$
K_F^{des}	coeficiente de dessorção de Freundlich	$\mu\text{g}^{1-1/n} (\text{cm}^3)^{1/n} \text{ g}^{-1}$
$m_{aq}^{des}(t_i)$	massa de substância de ensaio dessorvida do solo no instante t_i	μg
$m_m^{des}(\Delta t_i)$	massa de substância de ensaio dessorvida do solo no intervalo Δt_i	μg
$m_m^{des}(eq)$	massa de substância determinada analiticamente na fase aquosa no estado de equilíbrio de dessorção	μg
$m_{aq}^{des}(eq)$	massa total de substância em estudo no estado de equilíbrio de dessorção	μg

Símbolo	Definição	Unidades
$m_s^{des}(\Delta t_i)$	massa de substância que permanece adsorvida no solo após o intervalo Δt_i	μg
m_{aq}^A	massa de substância remanescente do equilíbrio de adsorção devido a uma substituição incompleta de volumes	μg
$C_s^{des}(eq)$	teor de substância em estudo que permanece adsorvida no solo no estado de equilíbrio de dessorção	$\mu\text{g g}^{-1}$
()	concentração mássica de substância de ensaio na fase aquosa no estado de equilíbrio de dessorção	$\mu\text{g cm}^3$
V_T	volume total da fase aquosa em contacto com o solo durante o ensaio de cinética de dessorção efectuado pelo método sequencial	cm^3
v_a^D	volume de sobrenadante removido do tubo após atingir o estado de equilíbrio de adsorção e substituído por igual volume de solução de CaCl_2 0,01 M	cm^3
v_r^D	volume da alíquota recolhida para fins analíticos a partir do instante (i), durante o ensaio de cinética de dessorção efectuado pelo método sequencial	cm^3
V_r^r	volume de solução recolhida do tubo (i) para a determinação da substância em estudo, no ensaio de cinética de dessorção (método paralelo)	cm^3
V_r^f	volume de solução recolhida do tubo para a determinação da substância em estudo, no estado de equilíbrio de dessorção	cm^3
MB	balanço de massas	%
m_E	massa total de substância em estudo extraída do solo e das paredes do recipiente de ensaio em duas etapas	μg
V_{rec}	volume de sobrenadante recolhido após atingir o estado de equilíbrio de adsorção	cm^3
P_{ow}	coeficiente de partição octanol/água	
pKa	constante de dissociação	
S_w	solubilidade em água	g l^{-1}

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Adicionam-se a amostras de solos de massa seca conhecida, previamente equilibradas com CaCl_2 , 0,01 M, volumes conhecidos de soluções da substância em estudo em CaCl_2 , 0,01 M, de concentração conhecida, marcadas ou não com radioisótopos. A mistura é agitada durante um período adequado. As suspensões de solo são separadas por centrifugação e eventualmente filtradas, procedendo-se à análise da fase aquosa. A quantidade de substância em estudo adsorvida pela amostra de solo é calculada na forma de diferença entre a quantidade de substância inicialmente presente na solução e a quantidade remanescente no final do ensaio (método indirecto).

Como alternativa, pode determinar-se directamente a quantidade de substância em estudo adsorvida, mediante a análise do solo (método directo). Este processo, que implica a extracção do solo, por etapas, com solventes adequados, é recomendado nos casos em que não possa determinar-se com rigor a diferença das concentrações da substância na solução. A adsorção da substância na superfície dos recipientes de ensaio, a instabilidade da substância no período de ensaio, bem como uma adsorção fraca que determine apenas alterações ligeiras da concentração da solução ou uma forte adsorção que origine concentrações demasiado reduzidas para serem determinadas com rigor, constituem exemplos de tais casos. Se se utilizarem substâncias marcadas com radioisótopos, pode evitar-se a extracção do solo mediante a análise da fase edáfica por combustão seguida de contagem com um contador de cintilação líquida. Trata-se, todavia, de uma técnica não específica, que não permite distinguir as substâncias iniciais dos produtos de transformação, pelo que deve ser utilizada apenas se a substância em estudo for estável no período de duração do ensaio.

1.5. INFORMAÇÕES RELATIVAS À SUBSTÂNCIA EM ESTUDO

Os reagentes devem ser de qualidade analítica. No caso de substâncias em estudo de composição conhecida não marcadas, recomenda-se um grau de pureza mínimo de 95 %; no caso de substâncias marcadas com radioisótopos, a pureza deve ser de grau radioquímico. Se os isótopos radioactivos possuírem uma meia vida reduzida, devem utilizar-se parâmetros de correcção.

Antes de efectuar um ensaio de adsorção-dessorção, devem conhecer-se as seguintes informações relativas à substância em estudo:

- a) Solubilidade em água (A.6);
- b) Pressão de vapor (A.4) e/ou constante da lei de Henry;
- c) Degradação abiótica: hidrólise em função do pH (C.7);
- d) Coeficiente de partição (A.8);
- e) Biodegradabilidade fácil (C.4) ou transformação aeróbia/anaeróbia no solo;
- f) pKa das substâncias ionizáveis presentes;
- g) Fotólise directa em água (por exemplo, espectro de absorção UV-Vis em água, rendimento quântico) e fotodegradação no solo.

1.6. APLICABILIDADE DO ENSAIO

O ensaio é aplicável a substâncias químicas para as quais existe um método analítico suficientemente rigoroso. A estabilidade da substância no período de ensaio é um parâmetro susceptível de influenciar a fiabilidade dos resultados, em especial quando se utiliza o método indirecto. Deve, pois, efectuar-se um ensaio preliminar com o objectivo de verificar a estabilidade; caso ocorra uma transformação no período de ensaio, recomenda-se a análise do solo e das fases aquosas no ensaio principal.

Podem surgir dificuldades na condução do ensaio em substâncias de solubilidade reduzida em água ($S_w < 10^{-4}$ g l⁻¹), bem como em substâncias com carga eléctrica elevada, pode determinar dificuldades, uma vez que a determinação analítica da concentração da fase aquosa não pode ser efectuada com rigor suficiente. Nestes casos, é necessário adoptar medidas adicionais. Nas secções relevantes do presente método fornecem-se orientações para a resolução dos problemas em causa.

Caso se utilizem substâncias voláteis, devem evitar-se perdas durante o processo.

1.7. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

1.7.1. Equipamento e reagentes

Equipamento corrente de laboratório, nomeadamente:

- a) Tubos ou recipientes de ensaio, que devem possuir as seguintes características:
 - ser directamente adaptáveis à centrífugadora, de modo a minimizar os erros de manipulação e transferência,
 - ser feitos de um material inerte, de modo a minimizar a adsorção da substância em estudo na sua superfície;
- b) Dispositivo de agitação: agitador vertical ou equipamento equivalente; o dispositivo de agitação deve manter a amostra de solo em suspensão durante o processo;
- c) Centrífugadora: preferentemente de alta velocidade (por exemplo, força centrífuga $> 3\,000$ g), com controlo de temperatura e capacidade de remover da solução aquosa partículas de diâmetro superior a 0,2 µm. Os tubos ou recipientes devem ser tapados durante a agitação e centrifugação, de modo a evitar perdas por volatilização ou perdas de água; com vista a minimizar a adsorção nos tubos ou recipientes, devem utilizar-se tampas activadas, nomeadamente de teflon;
- d) Dispositivo de filtração (opcional): filtros com poros de 0,2 µm, esterilizados e descartáveis. Devem adoptar-se precauções especiais na selecção dos materiais de filtração, de modo a evitar perdas da substância em estudo; no caso de substâncias pouco solúveis, não é recomendável o uso de filtros de matérias orgânicas;
- e) Equipamento analítico adequado à determinação da concentração da substância em estudo;

- f) Estufa com possibilidade de manter a temperatura entre 103°C e 110°C.

1.7.2. Caracterização e selecção dos solos

Os solos devem ser caracterizados pelos três principais parâmetros considerados responsáveis pela capacidade de adsorção: teor de carbono orgânico, teor de argila, textura do solo e pH. Como referido *supra* (Âmbito), devem ter-se em conta quaisquer outras propriedades físico-químicas do solo que possam apresentar impacto na adsorção/dessorção de uma determinada substância.

Os métodos utilizados para a caracterização dos solos são bastante importantes, podendo influenciar os resultados de modo significativo. Deste modo, recomenda-se a determinação do pH do solo numa solução de CaCl_2 , 0,01 M (solução utilizada no ensaio de adsorção/dessorção) de acordo com o método ISO correspondente (ISO-10390-1). Recomenda-se também a determinação de outras propriedades importantes do solo por recurso a métodos normalizados (por exemplo manual ISO de análise dos solos «Handbook of Soil Analysis»); a análise dos dados de adsorção/dessorção poderá assim basear-se em parâmetros globalmente normalizados. As referências (50-52) fornecem algumas directrizes referentes aos métodos normalizados existentes para a análise e caracterização dos solos. No que respeita à calibração dos métodos de ensaio aplicáveis aos solos, recomenda-se o uso de amostras de solos de referência.

O quadro 1 fornece directrizes para a selecção dos solos a utilizar nos ensaios de adsorção/dessorção. Os sete tipos de solos seleccionados são característicos das regiões temperadas. No caso da utilização de substâncias ionizáveis, os solos seleccionados devem possuir uma gama alargada de pH, de modo a que possa avaliar-se a adsorção da substância nas suas formas ionizada e não ionizada. Na secção 1.9 (Realização do ensaio) apresentam-se orientações relativas ao número de solos diferentes que devem ser utilizados nas várias fases do ensaio.

Caso se utilizem outros tipos de solos, estes últimos devem ser caracterizados pelos mesmos parâmetros, devendo as suas propriedades apresentar uma variação semelhante à dos solos descritos no quadro 1, mesmo que não satisfaçam os critérios de forma rigorosa.

Quadro 1

Directrizes para a selecção das amostras de solos a utilizar nos ensaios de adsorção-dessorção

Tipo de solo	Gama de pH (em CaCl_2 0,01 M)	Teor de carbono orgânico (%)	Teor de argila (%)	Textura ⁽¹⁾
1	4,5- 5,5	1,0- 2,0	65-80	argilosa
2	> 7,5	3,5- 5,0	20-40	argilo-limosa
3	5,5- 7,0	1,5- 3,0	15-25	franco-limosa
4	4,0- 5,5	3,0- 4,0	15-30	limosa
5	< 4,0 - 6,0 ⁽²⁾	< 0,5- 1,5 ⁽²⁾ ⁽³⁾	< 10-15 ⁽²⁾	limo-arenosa
6	> 7,0	< 0,5- 1,0 ⁽²⁾ ⁽³⁾	40-65	argilo-limosa/argilosa
7	< 4,5	> 10	< 10	arenosa/limo-arenosa

⁽¹⁾ Em conformidade com o sistema da FAO e dos Estados Unidos (85).

⁽²⁾ As variáveis respectivas devem, preferencialmente, exibir valores incluídos nas gamas indicadas. Todavia, caso se observem dificuldades em encontrar solos adequados, podem utilizar-se valores inferiores aos mínimos indicados.

⁽³⁾ A utilização de solos com teor de carbono orgânico inferior a 0,3 % poderá perturbar a correlação entre o referido teor e a adsorção. Recomenda-se, pois, a utilização de solos com um teor mínimo de carbono orgânico de 0,3 %.

1.7.3. Recolha e armazenagem das amostras de solos

1.7.3.1. Recolha

Não se recomendam técnicas ou instrumentos específicos de amostragem; a técnica a utilizar depende do objectivo do ensaio (53) (54) (55) (56) (57) (58).

Deve ter-se em conta o seguinte:

- a) São necessárias informações pormenorizadas sobre a história do local de recolha, nomeadamente a localização, o tipo de vegetação presente, o eventual tratamento com pesticidas e/ou adubos, a adição de matéria biológica e a contaminação accidental. No que respeita à descrição do referido local, devem seguir-se as recomendações da norma ISO relativa à recolha de amostras de solos (ISO 10381-6);
- b) O local de recolha das amostras deve ser definido por UTM (*Universal Transversal Mercator-Projection/European Horizontal Datum*) ou por coordenadas geográficas; o que permitirá a recolha futura de tipos específicos de solos ou contribuir para a definição dos solos em diversos sistemas de classificação utilizados em países diferentes. As amostras devem ser recolhidas apenas em horizontes A, até uma profundidade máxima de 20 cm. Se, no caso particular do solo n.º 7, se encontrar presente uma componente de horizonte O_h, a mesma deve ser incluída na amostragem.

As amostras de solo devem ser transportadas em recipientes e a temperaturas tais que as suas propriedades não sofram alterações significativas.

1.7.3.2. *Armazenagem*

É preferível a utilização de solos recentemente recolhidos. Nos casos em que tal não for possível, os solos podem ser armazenados à temperatura ambiente, numa atmosfera seca. Não se recomenda qualquer período-limite de armazenagem; contudo, no caso dos solos armazenados há mais de três anos, deve determinar-se o teor de carbono orgânico, o pH e CEC antes da utilização.

1.7.3.3. *Manuseamento das amostras de solos e sua preparação para o ensaio*

Os solos são mantidos numa atmosfera seca, à temperatura ambiente (de preferência, entre 20 e 25 °C). Devem aplicar-se forças de desagregação mínimas, de modo a manter tanto quanto possível a textura original dos solos. Os solos são crivados a uma granulometria inferior ou igual a 2 mm; o processo de crivagem deve ser conforme às recomendações da norma ISO relativa à recolha de amostras de solos (ISO 10381-6). Recomenda-se uma homogeneização cuidadosa, de modo a aumentar a reprodutibilidade dos resultados. O teor de humidade dos solos é determinado com três alíquotas, por aquecimento a 105°C até não se observarem alterações de massa significativas (cerca de 12 h). Para efeitos de cálculo, utiliza-se a massa de solo seco na estufa, isto é a massa corrigida do teor de humidade.

1.7.4. **Preparação da substância em estudo para aplicação no solo**

A substância é dissolvida numa solução de CaCl₂, 0,01 M em água destilada ou desionizada; a solução de CaCl₂ é utilizada como fase aquosa com o objectivo de melhorar a centrifugação e minimizar a permuta cationica. De preferência, a concentração da solução-mãe deve ser três ordens de grandeza acima do limite de detecção do método analítico utilizado. Este limiar garante o rigor das determinações no âmbito da metodologia do presente método; além disso, a concentração da solução-mãe deve ser inferior à solubilidade da substância em estudo em água.

A solução-mãe deve ser preparada, preferencialmente, imediatamente antes da aplicação nas amostras de solos, devendo ser mantida fechada e na ausência de luz, a 4°C. O tempo de armazenagem depende da estabilidade da substância e da sua concentração na solução.

No caso de substâncias pouco solúveis ($S_w < 10^{-4}$ g l⁻¹), pode ser necessário utilizar um agente de solubilização adequado. Este último: a) deve ser miscível com a água (por exemplo, metanol ou acetoneitrilo); b) a sua concentração não deve exceder 1 % do volume total da solução-mãe e deve ser inferior à concentração da substância de ensaio em contacto com o solo (de preferência menos de 0,1 %); c) não deve ser tensioactivo nem susceptível de participar em processos de solvolise com a substância em estudo. A utilização de um agente de solubilização deve ser justificada de modo pormenorizado no relatório de ensaio.

A dopagem por adição da substância em estudo constitui outra alternativa aplicável a substâncias pouco solúveis. Neste caso, a substância em estudo é dissolvida num solvente orgânico, sendo adicionada uma alíquota ao sistema constituído pelo solo e a solução de CaCl₂ 0,01 M em água destilada ou desionizada. O teor de solvente orgânico na fase aquosa deverá ser mantido a níveis tão reduzidos quanto possível, não devendo, em geral, exceder 0,1 %. A técnica em causa tem como desvantagem a não reprodutibilidade dos volumes: o facto de a concentração da substância em estudo e do co-solvente não ser idêntica em todos os ensaios poderá representar um factor de erro adicional.

1.8. REQUISITOS PRÉVIOS PARA A REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE ADSORÇÃO/DESSORÇÃO

1.8.1. Método analítico

Os principais parâmetros que podem influenciar o rigor das determinações de adsorção/dessorção incluem a precisão do método de análise da solução e da fase adsorvida, a estabilidade e pureza da substância em estudo, o tempo necessário para atingir o equilíbrio de adsorção/dessorção, a amplitude da variação de concentração da solução, a razão solo/solução e as alterações na estrutura do solo durante o processo de equilíbrio (35) (59-62). O apêndice 2 fornece alguns exemplos ligados à precisão das determinações.

Deve verificar-se a fiabilidade do método analítico para a gama de concentrações susceptíveis de ocorrer durante o ensaio. O experimentador deve ser livre de desenvolver um método com exactidão, precisão, reprodutibilidade, limites de detecção e recuperação adequados. A descrição infra fornece directrizes sobre o modo de execução do ensaio em causa.

Agita-se um volume adequado (por exemplo, 100 cm³) de CaCl₂ 0,01 M, durante quatro horas, com uma massa de solo (por exemplo, 20 g) de elevada capacidade de adsorção, isto é, com um teor elevado de carbono orgânico e de argila. As massas e volumes referidos podem variar em função das necessidades analíticas; uma razão solo/solução de 1:5 constitui, em geral, um valor inicial adequado. A mistura é centrifugada, podendo filtrar-se a fase aquosa. Adiciona-se à mistura um determinado volume de solução-mãe da substância em estudo, de modo a obter uma concentração nominal incluída na gama de concentrações susceptíveis de ocorrer durante o ensaio. O referido volume não deverá exceder 10 % do volume final da fase aquosa, de modo a alterar tão pouco quanto possível a natureza da solução de pré-equilíbrio. Procede-se à análise da solução.

Deve efectuar-se um ensaio em branco com o sistema constituído pelo solo e a solução de CaCl₂ (suprimindo a substância em estudo), de modo a averiguar a existência de anomalias no método analítico, bem como possíveis efeitos matriciais causados pelo solo.

Os métodos analíticos que podem ser utilizados para as determinações de adsorção/dessorção incluem a cromatografia gás-líquido (GLC), a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), a espectrometria (espectrometria de massa acoplada à GLC e HPLC) e a contagem por cintilação líquida (no caso de substâncias marcadas com radioisótopos). Independentemente do método analítico utilizado, considera-se que o mesmo é adequado se as recuperações forem da ordem de 90 % a 110 % do valor nominal. De modo a permitir efectuar a detecção e avaliação após a partição, os limites de detecção do método analítico devem ser inferiores à concentração nominal em, pelo menos, duas ordens de grandeza.

As características e limites de detecção do método analítico utilizado nos estudos de adsorção desempenham um papel importante na definição das condições de ensaio e no desempenho global do mesmo. O presente método constitui uma abordagem experimental, fornecendo recomendações e directrizes para o desenvolvimento de soluções alternativas caso o método analítico e as condições laboratoriais imponham limitações.

1.8.2. Selecção das razões solo/solução adequadas

A selecção das razões solo/solução adequadas aos estudos de adsorção/dessorção depende do coeficiente de distribuição K_d e do grau de adsorção relativa pretendido. A alteração da concentração da substância na solução determina o rigor estatístico da determinação, baseado na forma da equação de adsorção e do limite da metodologia analítica. Na prática, é conveniente adoptar uma série de razões fixas, relativamente às quais a percentagem adsorvida seja superior a 20 % e, preferentemente, a 50 % (62), devendo procurar manter-se a concentração da substância em estudo na fase aquosa a níveis que possam ser determinados com rigor. Tal facto é particularmente importante no caso de se observarem percentagens de adsorção elevadas.

A estimativa do valor de K_d , quer através de estudos preliminares quer por técnicas de estimativa consagradas (apêndice 3), fornece uma abordagem conveniente da selecção das razões solo/água adequadas. A selecção de uma razão pode ser efectuada com base numa representação das razões solo/solução em função dos valores de K_d , para percentagens fixas de adsorção (figura 1), presumindo a linearidade da equação de adsorção ⁽¹⁾. A relação aplicável é obtida através do rearranjo da equação (4), de modo a obter a equação (1):

$$\frac{V_0}{m_{\text{solo}}} = \left(\frac{m_0}{m_s^{\text{ads}}(\text{eq})} - 1 \right) K_d \quad [1]$$

⁽¹⁾ $C_s^{\text{ads}}(\text{eq}) = K_d \cdot C_{\text{aq}}^{\text{ads}}(\text{eq})$.

ou, na forma logarítmica, assumindo que $R = m_{\text{solo}}/V_0 \text{ c } A_{\text{eq}} \%/100 = \frac{m_{\text{s}}^{\text{ads}}(\text{eq})}{m_0}$:

$$\log R = -\log K_d + \log \left[\frac{(A_{\text{eq}}\%/100)}{(1 - A_{\text{eq}}\%/100)} \right] \quad [2]$$

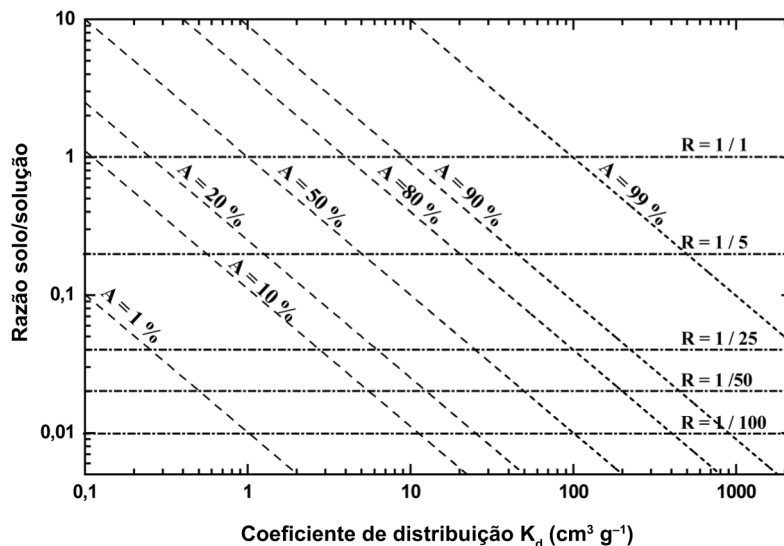


Figura 1. Relação entre as razões solo/solução e K_d, para diferentes percentagens de substância em estudo adsorvida

A figura 1 apresenta as razões solo/solução necessárias em função de K_d, para diversos níveis de adsorção. Por exemplo, com uma razão solo/solução de 1:5 e um K_d de 20, a percentagem de adsorção será da ordem de 80 %. Para obter uma percentagem de adsorção de 50 %, com um idêntico valor de K_d, deve utilizar-se uma razão de 1:25. Esta abordagem de selecção das razões solo/solução adequadas fornece ao investigador a flexibilidade necessária à satisfação das exigências experimentais.

As zonas de abordagem analítica mais difícil são aquelas em que a substância apresenta uma adsorção ligeira ou bastante elevada. Em caso de adsorção reduzida, recomenda-se a utilização de uma razão solo/solução de 1:1, embora, para solos com elevado teor de matéria orgânica, possa revelar-se necessário utilizar razões inferiores, de modo a obter uma massa pastosa. Devem adoptar-se precauções com a metodologia analítica para a determinação de pequenas alterações de concentração, sem o que o cálculo da adsorção será inexacto. Por outro lado, no caso de coeficientes de partição K_d bastante elevados, pode utilizar-se uma razão solo/solução de 1:100, de modo a que permaneça na solução uma quantidade apreciável da substância. Contudo, devem adoptar-se precauções no sentido de assegurar uma homogeneização adequada, devendo prever-se o tempo necessário ao equilíbrio do sistema. A previsão do valor de K_d por recurso a técnicas de estimativa baseadas, por exemplo, nos valores de P_{ow} (apêndice 3) constitui uma abordagem alternativa, que pode ser utilizada, nomeadamente, no caso de substâncias polares ou com adsorção reduzida, bem como com valores de P_{ow} inferiores a 20, e no caso de substâncias lipófilas/ou de elevada adsorção com P_{ow} > 10⁴.

1.9. REALIZAÇÃO DO ENSAIO

1.9.1. Condições de ensaio

Todos os ensaios devem ser realizados à temperatura ambiente e, se possível, a uma temperatura constante compreendida entre 20 °C e 25 °C.

As condições de centrifugação devem permitir remover da solução partículas de granulometria superior a 0,2 µm. Este valor representa a granulometria mínima para que uma partícula seja considerada sólida, constituindo o limite entre as partículas sólidas e coloidais. O apêndice 4 fornece directrizes para a determinação das condições de centrifugação.

Se o equipamento de centrifugação não garantir a remoção de partículas de granulometria superior a 0,2 µm, pode combinar-se a centrifugação com uma filtração com filtros de 0,2 µm de porosidade. Os filtros devem ser feitos de um material inerte adequado, de modo a evitar quaisquer perdas da substância em estudo. Em qualquer caso, deve provar-se a não ocorrência de perdas da substância durante a filtração.

1.9.2. Etapa 1 — Ensaio preliminar

O objectivo da realização de um ensaio preliminar foi já referido na secção «Âmbito». Fornecem-se de seguida directrizes para o estabelecimento das condições do referido ensaio.

1.9.2.1. *Seleção das razões solo/solução adequadas*

Utilizam-se dois tipos de solos e três razões solo/solução (seis ensaios). Um dos tipos de solos deverá possuir um teor elevado de carbono orgânico e um teor reduzido de argila; o outro solo deverá possuir um teor reduzido de carbono orgânico e um elevado teor de argila. Recomendam-se as seguintes razões:

- 50 g de solo e 50 cm³ de solução aquosa da substância em estudo (razão 1/1),
- 10 g de solo e 50 cm³ de solução aquosa da substância em estudo (razão 1/5),
- 2 g de solo e 50 cm³ de solução aquosa da substância em estudo (razão 1/25).

A quantidade mínima de solo necessária para efectuar o ensaio depende das condições laboratoriais e do desempenho dos métodos analíticos utilizados. Recomenda-se, contudo, a utilização de, pelo menos, 1 g, e, de preferência, 2 g, de modo a obter resultados fiáveis.

Uma amostra de controlo, contendo a substância em estudo dissolvida na solução de CaCl₂ 0,01 M, na ausência de solo, é sujeita ao mesmo tratamento que os sistemas de ensaio, com o objectivo de verificar a estabilidade da substância em estudo na solução de CaCl₂, bem como a sua eventual adsorção na superfície dos recipientes de ensaio.

Deve efectuar-se um ensaio em branco para cada tipo de solo, aplicando um procedimento idêntico a uma amostra constituída pela mesma quantidade de solo e um volume total de 50 cm³ de solução de CaCl₂ 0,01 M, na ausência da substância em estudo. O ensaio em branco possui uma função de controlo do processo analítico, permitindo detectar a presença de substâncias interferentes ou de contaminantes dos solos.

Todos os ensaios, incluindo os de controlo e brancos, devem ser realizados pelo menos em duplicado. O número total de amostras a preparar para o ensaio pode ser calculado em função da metodologia utilizada.

Os métodos utilizados no ensaio preliminar e no ensaio principal são, de modo geral, idênticos, referindo-se as excepções sempre que for caso disso.

Antes da realização do ensaio, as amostras de solos secas ao ar são equilibradas por agitação, durante 12 h, com um volume mínimo de 45 cm³ de CaCl₂ 0,01 M. Seguidamente, adiciona-se um volume determinado de solução-mãe da substância em estudo, de modo a ajustar o volume final para 50 cm³. O volume de solução-mãe a adicionar: a) não deve exceder 10 % do volume final (50 cm³) da fase aquosa, de modo a alterar tão pouco quanto possível a natureza da solução de pré-equilíbrio; b) deve, de preferência, resultar numa concentração inicial da substância em estudo em contacto com o solo (C₀) superior ao limite de detecção do método analítico em, pelo menos, duas ordens de grandeza; este limiar garante a possibilidade de efectuar determinações rigorosas mesmo em caso de ocorrência de uma forte adsorção (> 90 %), bem como o cálculo posterior das isotérmicas de adsorção. Recomenda-se também, na medida do possível, que a concentração inicial da substância em estudo (C₀) não exceda metade do seu limite de solubilidade.

Apresenta-se de seguida um exemplo do cálculo da concentração da solução-mãe (C_a). Assume-se que o limite de detecção é de 0,01 µg cm⁻³ e a taxa de adsorção de 90 %; nestas condições, a concentração inicial da substância em estudo em contacto com o solo deve, preferentemente, ser de 1 µg cm⁻³ (superior ao limite de detecção em duas ordens de grandeza). Supondo que se adiciona o volume máximo recomendável de solução-mãe, isto é, 5 a 45 cm³ de solução de CaCl₂ 0,01 M (= 10 % de solução-mãe a um volume total da fase aquosa de 50 cm³), a concentração da solução-mãe deve ser de 10 µg cm⁻³, ou seja, superior ao limite de detecção do método analítico em três ordens de grandeza.

Deve determinar-se o pH da fase aquosa antes e após o contacto com o solo, uma vez que desempenha um papel importante em todo o processo de adsorção, especialmente no caso das substâncias ionizáveis.

A mistura é agitada até ser atingido o equilíbrio de adsorção. O tempo necessário para atingir o equilíbrio no solo é bastante variável, dependendo da natureza da substância e do tipo de solo; um período de 24 h é, em geral, suficiente (77). No estudo preliminar, recomenda-se a adopção de uma amostragem sequencial nas 48 h subsequentes à mistura (por exemplo, após quatro, oito, 24 e 48 h). Deve, contudo, adoptar-se uma relativa flexibilidade no que respeita à duração do ensaio, tendo em conta a programação do trabalho de laboratório.

Existem duas opções para a análise da substância em estudo na solução aquosa: a) método paralelo b) método sequencial. Deve sublinhar-se que, embora no plano experimental o método paralelo seja mais fastidioso, o tratamento matemático dos resultados é mais simples (ver apêndice 5). Todavia, a escolha da metodologia a adoptar é deixada ao critério do experimentador, que deverá ter em conta as condições e os recursos laboratoriais disponíveis.

- a) Método paralelo: preparam-se amostras com a mesma razão solo/solução, em número igual aos intervalos de tempo em que pretende estudar-se a cinética de adsorção. Após centrifugação e, se necessário, filtração, a fase aquosa do primeiro tubo é recolhida tão completamente quanto possível e sujeita a análise após, por exemplo, quatro h, sendo a fase aquosa do segundo tubo recolhida após oito h, a do terceiro tubo após 24, etc.;
- b) Método sequencial: prepara-se uma única amostra em duplicado por cada razão solo/solução. A mistura é centrifugada a intervalos regulares, de modo a separar as fases. Determina-se de imediato a substância em estudo numa pequena alíquota da fase aquosa, prosseguindo-se o ensaio com a mistura original. Caso se recorra à filtração após a centrifugação, as condições do laboratório devem permitir filtrar alíquotas aquosas de volume reduzido. Recomenda-se que o volume total de alíquotas recolhidas não exceda 1 % do volume total da solução, de modo a não alterar significativamente a razão solo/solução e reduzir a massa de soluto disponível para adsorção durante o ensaio.

Calcula-se a percentagem de adsorção A_{t_i} em cada instante (t_i) com base na concentração inicial nominal e na concentração determinada no instante de amostragem (t_i), corrigida do valor referente à amostra em branco. A representação gráfica A , em função do tempo (figura 1 do apêndice 5) permite obter uma estimativa do tempo necessário para atingir o patamar de equilíbrio ⁽¹⁾, bem como calcular o valor de K_d no estado de equilíbrio. Com base no valor de K_d , seleccionam-se da figura 1 razões solo/solução adequadas, que determinem uma percentagem de adsorção superior a 20 % e, preferentemente, superior a 50 % (61). As equações a aplicar e princípios de representação gráfica são fornecidos na secção «Apresentação dos resultados» e no apêndice 5.

1.9.2.2. *Determinação do tempo necessário para atingir o equilíbrio de adsorção e da quantidade de substância em estudo adsorvida no estado de equilíbrio*

Como referido *supra*, a representação gráfica de A_{t_i} ou C_{aq}^{ads} em função do tempo permite obter uma estimativa do instante em que é atingido o equilíbrio de adsorção, bem como da quantidade de substância em estudo adsorvida no estado de equilíbrio. As figuras 1 e 2 do apêndice 5 fornecem exemplos das referidas representações. O tempo necessário para atingir o equilíbrio traduz-se no tempo de que o sistema necessita para atingir o patamar de equilíbrio.

Se, no caso de um determinado solo, não se observar a ocorrência de qualquer patamar, mas antes um aumento constante, tal facto pode ser devido a factores de perturbação tais como a biodegradação ou difusão lenta. Pode averiguar-se a ocorrência de biodegradação repetindo o ensaio com uma amostra de solo esterilizada. Caso não se observe também qualquer patamar, o experimentador deve averiguar a ocorrência de outro fenómeno possível no caso específico em questão, procedendo a alterações adequadas das condições experimentais (temperatura, tempos de agitação, razões solo/solução). Compete ao experimentador decidir o prosseguimento do ensaio apesar da eventual impossibilidade de atingir o equilíbrio.

1.9.2.3. *Adsorção na superfície do recipiente de ensaio e estabilidade da substância em estudo*

A análise das amostras de controlo permite obter informações sobre a adsorção da substância em estudo na superfície dos recipientes de ensaio, bem como sobre a respectiva estabilidade. Caso se observe uma perda superior ao erro-padrão do método analítico utilizado, esta pode dever-se a uma degradação abiótica e/ou adsorção na superfície do recipiente de ensaio. Estes fenómenos são distinguíveis mediante a lavagem das paredes do recipiente com um volume conhecido de um solvente adequado, seguida de determinação da substância em estudo na solução resultante da lavagem. Se não ocorrer adsorção na superfície do recipiente de ensaio, a perda reflecte a instabilidade abiótica da substância em estudo. Caso se observe a ocorrência de adsorção, é necessário utilizar recipientes de outro material. De referir que os dados relativos à adsorção na superfície dos recipientes de ensaio assim obtidos não são directamente extrapoláveis para o ensaio solo/solução, uma vez que a presença de solo afecta o processo de adsorção.

⁽¹⁾ A representação gráfica da concentração da substância de ensaio na fase aquosa (C_{aq}^{ads}) em função do tempo pode também ser utilizada na estimativa do instante em que é atingido o patamar de equilíbrio (ver figura 2 do apêndice 5).

Podem obter-se informações adicionais sobre a estabilidade da substância em estudo através do cálculo do balanço de massas em função do tempo. Tal implica a determinação da substância em estudo na fase aquosa, em extractos do solo e nas paredes do recipiente de ensaio. A diferença entre a massa de substância em estudo adicionada e a soma das massas da mesma substância na fase aquosa, nos extractos de solo e no recipiente de ensaio corresponde à massa degradada e/ou volatilizada e/ou não extraída. A determinação do balanço de massas apenas deve ser efectuada se o equilíbrio de adsorção tiver sido atingido no período de ensaio.

O balanço de massas é determinado para ambos os solos, bem como para uma razão solo/solução por solo com uma perda superior a 20 % e, preferentemente, superior a 50 %, no estado de equilíbrio. Após a análise da última amostra de fase aquosa, decorridas 48 h do início do ensaio, as fases são separadas por centrifugação e eventualmente filtradas. A fase aquosa é recuperada na maior extensão possível, adicionando-se de seguida ao solo um solvente de extracção adequado, com um coeficiente de extracção mínimo de 95 %, de modo a extrair a substância em estudo. Recomenda-se a realização de duas extracções sucessivas. Determina-se então a quantidade de substância em estudo presente no solo e nos extractos dos recipientes, procedendo-se ao cálculo do balanço de massas (equação 10 da secção «Apresentação dos resultados»). Caso o referido balanço seja inferior a 90 %, a substância deve considerar-se instável no intervalo de duração do ensaio. Podem, contudo, prosseguir-se os estudos, tendo em devida conta a referida instabilidade; neste caso, recomenda-se a análise de ambas as fases no ensaio principal.

1.9.3. *Etapas 2 — Cinética de adsorção para uma determinada concentração da substância em estudo*

Utilizam-se cinco solos, seleccionados com base no quadro 1. É conveniente utilizar alguns dos solos (ou mesmo todos) utilizados no ensaio preliminar. Neste caso, não deverá repetir-se a etapa 2 para os solos utilizados no referido ensaio.

O tempo necessário para atingir o equilíbrio, a razão solo/solução, a massa da amostra de solo, o volume de fase aquosa em contacto com o solo e a concentração da substância em estudo na solução são seleccionados com base nos resultados do ensaio preliminar. De preferência, deve efectuar-se a análise após um tempo de contacto aproximado de duas, quatro, seis, oito (eventualmente também 10) e 24 h; caso os resultados dos ensaios de das razões mostrem que um determinado produto necessita de tempos de exposição superiores, o tempo de agitação pode ser aumentado para, no máximo, 48 h. O estabelecimento dos referidos tempos deve, contudo, ser encarado de modo flexível.

Cada ensaio com um tipo específico de solo e uma solução deve ser efectuado pelo menos em duplicado, de modo a permitir estimar a variância dos resultados. Deve também realizar-se em cada caso um ensaio em branco, utilizando uma massa de amostra de solo e um volume de solução de CaCl_2 0,01 M idênticos aos utilizados no ensaio principal, na ausência da substância em estudo. Deve aplicar-se o mesmo procedimento de ensaio a uma amostra de controlo contendo apenas a substância em estudo dissolvida na solução de CaCl_2 0,01 M, na ausência de solo, como medida de precaução contra factores imprevistos.

A percentagem de adsorção é calculada em cada instante A_{t_i} e/ou em cada intervalo $A_{\Delta t_i}$ (de acordo com as necessidades), sendo representada graficamente em função do tempo. Calcula-se também o coeficiente de distribuição no equilíbrio, K_d , bem como o coeficiente de adsorção normalizado em relação ao carbono orgânico, K_{oc} (aplicável a substâncias orgânicas não polares).

Resultados do ensaio de cinética de adsorção

De modo geral, o valor linear de K_d é suficientemente preciso para descrever o comportamento do solo em termos de adsorção/dessorção (35) (78), constituindo uma expressão da mobilidade característica da substância no solo. Considera-se, por exemplo, que as substâncias com $K_d \leq 1 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ apresentam uma mobilidade qualitativa apreciável. Além disso, MacCall *et al.* (16) desenvolveram um método de classificação da mobilidade com base nos valores de K_{oc} . Existem também sistemas de classificação da lixiviação baseados na relação entre K_{oc} e DT-50⁽¹⁾ (32) (79).

Por outro lado, de acordo com os estudos de análise de erros (61), os valores de K_d inferiores a $0,3 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ não podem ser estimados de forma rigorosa com base no decréscimo da concentração da fase aquosa, mesmo quando se utiliza a razão solo/solução mais favorável do ponto de vista da precisão, ou seja, 1:1. Neste caso, recomenda-se proceder à análise de ambas as fases (solo e solução).

Relativamente às observações *supra*, recomenda-se que o estudo do comportamento da substância no solo em termos de adsorção, bem como da sua mobilidade potencial, seja seguido da determinação das isotérmicas de adsorção de Freundlich para os sistemas que permitam uma determinação rigorosa de K_d através do protocolo experimental descrito no presente método. Esta determinação é possível caso o valor resultante da multiplicação de K_d pela razão solo/solução seja superior a 0,3, sempre que as determinações sejam baseadas no decréscimo de concentração da fase aquosa (método indirecto), ou superior a 0,1, quando se procede à análise de ambas as fases (método directo) (61).

⁽¹⁾ DT-50: tempo necessário para a degradação de 50 % da substância em estudo.

1.9.4. Etapa 3 — Isotérmicas de adsorção e cinética de dessorção/isotérmicas de dessorção

1.9.4.1. Isotérmicas de adsorção

Utilizam-se cinco concentrações da substância em estudo, que deverão abranger, de preferência, duas ordens de grandeza; na selecção das referidas concentrações, devem ter-se em conta a solubilidade em água e as concentrações de equilíbrio resultantes. Para cada solo, deve utilizar-se ao longo de todo o ensaio a mesma razão solo/solução. O ensaio de adsorção é efectuado do modo descrito supra, embora a fase aquosa seja analisada uma única vez, após o tempo necessário para atingir o equilíbrio, estabelecido na etapa 2. Determinam-se as concentrações da solução no equilíbrio, calculando-se a quantidade adsorvida com base na perda da substância em estudo na solução ou pelo método directo. Representa-se graficamente a massa adsorvida por unidade de massa do solo em função da concentração de equilíbrio da substância em estudo (ver secção «Apresentação dos resultados»).

Resultados do ensaio para a determinação das isotérmicas de adsorção

De entre os diversos modelos matemáticos de adsorção propostos, a isotérmica de Freundlich constitui um dos mais frequentemente utilizados para descrever os processos de adsorção. As referências (41) (45) (80) (81) (82) fornecem informações mais pormenorizadas sobre a interpretação e importância dos modelos de adsorção.

Nota: Deve referir-se que a comparação dos valores de K_F (coeficiente de adsorção de Freundlich) de diversas substâncias apenas é possível se os referidos valores forem expressos nas mesmas unidades (83).

1.9.4.2. Cinética de dessorção

O objectivo do ensaio consiste em averiguar a reversibilidade ou irreversibilidade da adsorção de uma substância no solo, informação importante na medida em que o processo de dessorção desempenha um papel considerável no comportamento da substância no solo. Além disso, os dados de dessorção são utilizados na modelização por computador de processos de lixiviação e escoamento de substâncias dissolvidas. Caso se pretenda efectuar um estudo de dessorção, recomenda-se a aplicação do protocolo descrito *infra* a cada sistema relativamente ao qual foi possível efectuar uma determinação rigorosa de K_d no ensaio de cinética de adsorção precedente.

Tal como no estudo de cinética de adsorção, existem duas opções para efectuar o ensaio de cinética de dessorção: a) método paralelo; b) método sequencial. A selecção da metodologia a adoptar é deixada ao critério do experimentador, que deverá ter em conta as condições e os recursos laboratoriais disponíveis.

- a) Método paralelo: para cada tipo de solo seleccionado para o ensaio de dessorção, preparam-se amostras com a mesma razão solo/solução em número igual ao número de intervalos de tempo em que pretende estudar-se a cinética de dessorção. Devem usar-se, de preferência, os intervalos de tempo do ensaio de cinética de adsorção; pode, contudo, prolongar-se de forma adequada o tempo total, de modo a permitir que o sistema atinja o equilíbrio de dessorção. Deve efectuar-se um ensaio em branco para cada tipo de solo e concentração da solução, utilizando uma massa de solo e um volume de solução de CaCl_2 0,01 M idênticos aos do ensaio principal, na ausência da substância em estudo. Deve ainda aplicar-se o mesmo procedimento de ensaio a uma amostra de controlo contendo apenas a substância em estudo dissolvida na solução de CaCl_2 0,01 M, na ausência de solo. Agitam-se as misturas solo-solução até atingir o equilíbrio de adsorção, como determinado na etapa 2. Procede-se de seguida à separação das fases por centrifugação, recolhendo as fases aquosas na maior extensão possível. Os volumes de solução recolhidos são substituídos por iguais volumes de CaCl_2 0,01 M, na ausência de substância em estudo, agitando de novo. Removem-se as fases aquosas de modo tão completo quanto possível, efectuando-se determinações após, por exemplo, duas h, no caso do primeiro tubo, quatro h no caso do segundo, seis h no caso do terceiro, etc. até atingir o equilíbrio de dessorção;
- b) Método sequencial: após o ensaio de cinética de adsorção, a mistura é centrifugada e a fase aquosa removida na maior extensão possível. O volume de solução removida é substituído por igual volume de CaCl_2 0,01 M, na ausência da substância em estudo. A nova mistura é agitada até atingir o equilíbrio de dessorção. Durante este período, procede-se à centrifugação da mistura a intervalos regulares, de modo a separar as fases. Determina-se de imediato a substância em estudo numa pequena alíquota da fase aquosa, prosseguindo o ensaio com a mistura original. O volume de cada alíquota recolhida deve ser inferior a 1 % do volume total. Adiciona-se à mistura uma quantidade igual de solução de CaCl_2 0,01 M, com o objectivo de manter a razão solo/solução, mantendo a agitação até ao próximo intervalo.

Calcula-se a percentagem de dessorção em cada instante ((D_{t_i})) e/ou intervalo ($(D_{\Delta t_i})$) (de acordo com o objectivo do estudo), representando-a graficamente em função do tempo. Calcula-se também o coeficiente de dessorção no equilíbrio, K_{des} . As equações a aplicar são fornecidas na secção «Apresentação dos resultados» e no apêndice 5.

Resultados do ensaio de cinética de dessorção

A representação gráfica da percentagem de dessorção D_{t_i} e adsorção A_{t_i} em função do tempo permite estimar a reversibilidade do processo de adsorção. Caso o equilíbrio de dessorção seja atingido, mesmo num tempo duplo do tempo de equilíbrio de adsorção, e a dessorção total seja superior a 75 % da quantidade adsorvida, o processo de adsorção é considerado reversível.

1.9.4.3. Isotérmicas de dessorção

As isotérmicas de dessorção de Freundlich são determinadas nos solos utilizados no ensaio das isotérmicas de adsorção. O ensaio de dessorção é efectuado em conformidade com o protocolo descrito na secção «Cinética de dessorção», com a única diferença de que a fase aquosa é analisada uma única vez, no estado de equilíbrio de dessorção. Calcula-se a quantidade de substância em estudo dessorvida, representando graficamente o teor de substância em estudo que permanece adsorvida no solo no estado de equilíbrio de dessorção em função da concentração de equilíbrio da substância em estudo na solução (ver a secção «Apresentação dos resultados» e o apêndice 5).

2. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os dados analíticos são apresentados na forma de quadro (ver apêndice 6). Deve fornecer-se os resultados das várias determinações e as médias calculadas, bem como as representações gráficas das isotérmicas de adsorção. Os cálculos são efectuados do modo descrito *infra*.

Para os fins do ensaio, considera-se que 1 cm³ de solução aquosa possui a massa de 1 g. Deste modo, a razão solo/solução pode ser expressa em massa/massa ou massa/volume com o mesmo valor numérico.

2.1. ADSORÇÃO

A adsorção (A_{t_i}) é definida como a percentagem de substância adsorvida no solo, relativamente à quantidade presente no início do ensaio e nas condições em causa. Caso a substância em estudo seja estável e não ocorra uma adsorção significativa nas paredes do recipiente, o valor de A_{t_i} em cada instante t_i é calculado através da equação:

$$A_{t_i} = \frac{m_s^{\text{ads}}(t_i) \cdot 100}{m_0} (\%) \quad (3)$$

em que:

A_{t_i} = percentagem de adsorção no instante t_i (%);

$m_s^{\text{ads}}(t_i)$ = massa de substância em estudo adsorvida no solo no instante t_i (μg);

m_0 = massa de substância em estudo presente no recipiente de ensaio, no início do mesmo (μg).

O apêndice 5 fornece informações pormenorizadas sobre o modo de cálculo da percentagem de adsorção A_{t_i} tanto no caso do método paralelo como do método sequencial.

O coeficiente de distribuição K_d é a razão entre o teor de substância na fase edáfica e a concentração mássica da mesma na solução aquosa ao atingir o equilíbrio de adsorção, nas condições de ensaio.

$$K_d = \frac{C_s^{\text{ads}}(\text{eq})}{C_{\text{aq}}^{\text{ads}}(\text{eq})} = \frac{m_s^{\text{ads}}(\text{eq})}{m_{\text{aq}}^{\text{ads}}(\text{eq})} \cdot \frac{V_0}{m_{\text{soil}}} (\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}) \quad (4)$$

em que:

$C_s^{\text{ads}}(\text{eq})$ = teor de substância adsorvida no solo no estado de equilíbrio de adsorção (μg g⁻¹);

$C_{\text{aq}}^{\text{ads}}(\text{eq})$ = concentração mássica da substância na fase aquosa no estado de equilíbrio de adsorção (μg cm⁻³), cuja determinação analítica tem em conta os valores obtidos nos ensaios em branco;

$m_s^{ads}(eq)$ = massa de substância adsorvida no solo no estado de equilíbrio de adsorção (μg);
 $m_{aq}^{ads}(eq)$ = massa de substância presente na solução, no estado de equilíbrio de adsorção (μg);
 m_{solo} = quantidade de fase edáfica, expressa em massa seca de solo (g);
 V_0 = volume inicial de fase aquosa em contacto com o solo (cm^3).

A relação entre A_{eq} e K_d é dada por:

$$K_d = \frac{A_{eq}}{100 - A_{eq}} \cdot \frac{V_0}{m_{solo}} (cm^3 g^{-1}) \quad (5)$$

em que:

A_{eq} = percentagem de adsorção no estado de equilíbrio de adsorção, %.

O coeficiente de adsorção normalizado relativo ao carbono orgânico K_{oc} exprime o coeficiente de distribuição K_d em função do teor de carbono orgânico da amostra de solo:

$$K_{oc} = K_d \cdot \frac{100}{\%OC} (cm^3 g^{-1}) \quad (6)$$

em que:

$\%OC$ = percentagem de carbono orgânico na amostra de solo ($g g^{-1}$).

O coeficiente K_{oc} constitui um parâmetro característico da partição do carbono orgânico entre o solo ou sedimento e a água, nomeadamente no caso de compostos orgânicos não polares. Existe uma correlação entre a adsorção das referidas substâncias e o teor de carbono orgânico do sólido adsorvente (7); os valores de K_{oc} dependem das características específicas das fracções húmicas cuja capacidade de adsorção diferem de modo considerável, devido, nomeadamente, à sua origem ou génese diversa.

2.1.1. Isotérmicas de adsorção

A equação que exprime as isotérmicas de adsorção de Freundlich relaciona a quantidade de substância em estudo adsorvida com a concentração da substância em estudo na solução, no estado de equilíbrio (equação 8).

Os dados são processados de modo idêntico ao descrito na secção «Adsorção», calculando-se, para cada recipiente de ensaio, o teor de substância em estudo adsorvida no solo após o ensaio de adsorção [$C_s^{ads}(eq)$, por vezes designado por x/m]. Presume-se que o equilíbrio foi atingido e que $C_s^{ads}(eq)$ representa o valor no estado de equilíbrio:

$$C_s^{ads}(eq) = \frac{m_s^{ads}(eq)}{m_{solo}} = \frac{[C_0 - C_{aq}^{ads}(eq)] \cdot V_0}{m_{solo}} (\mu g g^{-1}) \quad (7)$$

A equação de adsorção de Freundlich é dada por (8):

$$C_s^{ads}(eq) = K_F^{ads} \cdot C_{aq}^{ads}(eq)^{1/n} (\mu g g^{-1}) \quad (8)$$

ou, na forma linear:

$$\log C_s^{ads}(eq) = \log K_F^{ads} + 1/n \cdot \log C_{aq}^{ads}(eq) \quad (9)$$

em que:

K_F^{ads} = Coeficiente de adsorção de Freundlich, cujas dimensões são de $cm^3 g^{-1}$ apenas nos casos em que $1/n = 1$:
 em todos os restantes casos, o declive $1/n$ é introduzido na dimensão de $K_F^{ads} (\mu g^{1-1/n} (cm^3)^{1/n} g^{-1})$;

n = constante de regressão; $1/n$ situa-se, de modo geral, entre 0,7 e 1,0, mostrando que os dados de adsorção/dessorção são, com frequência, ligeiramente não lineares.

Aplicam-se as equações (8) e (9), sendo os valores de K_F^{ads} e $1/n$ calculados por regressão linear, com o auxílio da equação 9. Calcula-se também o coeficiente de correlação r^2 da equação logarítmica. A figura 2 fornece um exemplo das representações em causa.

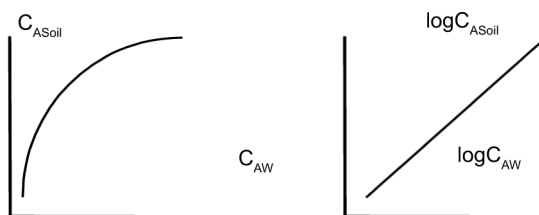


Figura 2. Gráficos de adsorção de Freundlich (normal e linearizado)

2.1.2. Balanço de massas

O balanço de massas (MB) é definido como a percentagem de substância inicialmente presente que pode ser analiticamente recuperada na sequência de um ensaio de adsorção.

O tratamento dos dados é diferente no caso de solventes totalmente miscíveis em água, podendo aplicar-se o método descrito na secção «Dessorção» para determinar a quantidade de substância recuperada por extracção com solvente. Se o solvente for menos miscível em água, deve determinar-se a quantidade recuperada.

O balanço de massas MB do processo de adsorção é calculado do modo que se segue; assume-se que o termo (m_E) corresponde à soma das massas da substância em estudo extraídas do solo e das paredes do recipiente de ensaio com um solvente orgânico:

$$MB = \frac{(V_{\text{rec}} \cdot C_{\text{aq}}^{\text{ads}}(\text{eq}) + m_E) \cdot 100}{V_0 \cdot C_0} (\%) \quad (10)$$

em que:

MB = balanço de massas (%);

m_L = massa total de substância em estudo extraída do solo e das paredes do recipiente de ensaio em duas etapas (μg);

C_0 = concentração inicial da solução de ensaio em contacto com o solo ($\mu\text{g cm}^{-3}$);

V_{rec} = volume de sobrenadante recuperado após atingir o equilíbrio de adsorção (cm^3).

2.2. DESSORÇÃO

A dessorção (D) é definida como a percentagem dessorvida de substância em estudo, relativamente à quantidade previamente adsorvida, nas condições de ensaio:

$$D_{t_i} = \frac{m_{\text{aq}}^{\text{des}}(t_i)}{m_s^{\text{ads}}(\text{eq})} \cdot 100 (\%) \quad (11)$$

em que:

D_{t_i} = percentagem de dessorção no instante t_i (%);

$m_{\text{aq}}^{\text{des}}(t_i)$ = massa de substância em estudo dessorvida do solo no instante t_i (μg);

$m_s^{\text{ads}}(\text{eq})$ = massa de substância em estudo adsorvida no solo no estado de equilíbrio de adsorção (μg).

O apêndice 5 fornece directrizes para o cálculo da percentagem de dessorção D_{t_i} no caso dos métodos paralelo e sequencial.

O coeficiente de dessorção aparente (K_{des}) é a razão entre a quantidade de substância que permanece na fase edáfica e a concentração mássica da substância dessorvida na solução aquosa, ao atingir o estado de equilíbrio de dessorção, nas condições de ensaio:

$$K_{des} = \frac{m_s^{ads}(eq) - m_{aq}^{des}(eq)}{m_{aq}^{des}(eq)} \frac{V_T}{m_{soil}} (\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}) \quad (12)$$

em que:

K_{des} = coeficiente de dessorção ($\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$);
 $m_{aq}^{des}(eq)$ = massa total de substância em estudo dessorvida do solo no estado de equilíbrio de dessorção (μg);
 V_T = volume total da fase aquosa em contacto com o solo durante o ensaio de cinética de dessorção (cm^3).

A secção «Dessorção» do apêndice 5 fornece directrizes para o cálculo de $m_{aq}^{des}(eq)$.

Nota:

Caso o ensaio de adsorção precedente tenha sido efectuado pelo método paralelo, considera-se que o volume V_T da equação (12) é igual a V_0 .

2.2.1. Isotérmicas de dessorção

A equação que exprime as isotérmicas de dessorção de Freundlich relaciona o teor de substância em estudo que permanece adsorvida no solo com a concentração de substância em estudo presente na solução no estado de equilíbrio de dessorção (equação 16).

Para cada recipiente de ensaio, o teor de substância que permanece adsorvida no solo no estado de equilíbrio de dessorção é calculado através da equação:

$$C_s^{des}(eq) = \frac{m_s^{ads}(eq) - m_{aq}^{des}(eq)}{m_{soil}} (\mu\text{g g}^{-1}) \quad (13)$$

$m_{aq}^{des}(eq)$ é definida como:

$$m_{aq}^{des}(eq) = m_m^{des}(eq) \cdot \frac{V_0}{V_r^F} - m_{aq}^A (\mu\text{g}) \quad (14)$$

em que:

$C_s^{des}(eq)$ = teor de substância em estudo que permanece adsorvida no solo no estado de equilíbrio de dessorção ($\mu\text{g g}^{-1}$);
 $m_m^{des}(eq)$ = massa de substância determinada analiticamente na fase aquosa, no estado de equilíbrio de dessorção (μg);
 m_{aq}^A = massa de substância em estudo remanescente do equilíbrio de adsorção devido a uma substituição incompleta de volumes (μg);
 $m_{aq}^{des}(eq)$ = massa de substância na solução no estado de equilíbrio de adsorção (μg);

$$m_{aq}^A = m_{aq}^{ads}(eq) \cdot \left(\frac{V_0 - V_R}{V_0} \right) \quad (15)$$

V_r^F = volume de solução recolhido do recipiente para determinação da substância em estudo, no estado de equilíbrio de dessorção (cm^3);

V_R = volume de sobrenadante removido do tubo ao atingir o estado de equilíbrio de adsorção e substituído pelo mesmo volume de solução de CaCl_2 0,01 M (cm^3);

A equação de dessorção de Freundlich é dada por (16):

$$C_s^{des}(eq) = K_F^{des} \cdot C_{aq}^{des}(eq)^{1/n} (\mu\text{g g}^{-1}) \quad (16)$$

ou, na forma linear:

$$\log C_s^{\text{des}}(\text{eq}) = \log K_F^{\text{des}} + 1/n \cdot \log C_{\text{aq}}^{\text{des}}(\text{eq}) \quad (17)$$

em que:

K_F^{des} = coeficiente de dessorção de Freundlich;

n = constante de regressão;

$C_{\text{aq}}^{\text{des}}(\text{eq})$ = concentração mássica da substância na fase aquosa, no estado de equilíbrio de dessorção ($\mu\text{g cm}^{-3}$).

As equações (16) e (17) podem ser representadas graficamente, calculando-se os valores de K_F^{des} e $1/n$ por regressão linear, através da equação 17.

Nota:

Caso o expoente $1/n$ da equação de adsorção ou dessorção de Freundlich seja unitário, a constante de adsorção ou dessorção de Freundlich (K_F^{ads} e K_F^{des}) é igual à constante de equilíbrio de adsorção ou dessorção (K_d e K_{des}), respectivamente, sendo lineares as representações de C_s em função de C_{aq} . Caso os referidos expoentes sejam diferentes de 1, a representação de C_s versus C_{aq} será não linear, variando as constantes de adsorção e dessorção ao longo das isotérmicas.

2.2.2. Relatório do ensaio

O relatório do ensaio deverá incluir as seguintes informações:

- Identificação completa das amostras de solo utilizadas, incluindo:
- identificação geográfica do local (latitude, longitude),
- data de recolha das amostras,
- perfil de utilização do solo (por exemplo, solo agrícola, florestal, etc.),
- profundidade da recolha de amostras,
- teor de areia/sedimentos/argila,
- valores de pH (em solução de CaCl_2 0,01 M),
- teor de carbono orgânico,
- teor de matéria orgânica,
- teor de azoto,
- razão C/N,
- capacidade de permuta cationica (mmol/kg),
- todas as informações relativas à recolha e armazenagem das amostras de solo,
- se adequado, quaisquer informações relevantes para a interpretação dos processos de adsorção-dessorção da substância em estudo,
- referência aos métodos utilizados para a determinação de cada parâmetro,

- informações adequadas sobre a substância em estudo,
- temperatura de ensaio,
- condições de centrifugação,
- processo analítico utilizado para a análise da substância em estudo,
- justificação do eventual recurso a um agente de solubilização na preparação da solução-mãe da substância em estudo,
- explicação das correcções efectuadas nos cálculos, se for caso disso,
- dados apresentados em conformidade com o formulário do apêndice 6 e representações gráficas,
- quaisquer informações e observações úteis para a interpretação dos resultados do ensaio.

3. REFERÊNCIAS

- (1) Kukowski H. and Brümmer G., (1987). Investigations on the Adsorption and Desorption of Selected Chemicals in Soils. UBA Report 106 02045, Part II.
- (2) Fränzle O., Kuhnt G. and Vetter L., (1987). Selection of Representative Soils in the EC-Territory. UBA Report 106 02045, Part I.
- (3) Kuhnt G. and Muntau H. (Eds.) EURO-Soils: Identification, Collection, Treatment, Characterisation. Special Publication No 1.94.60, Joint Research Centre. European Commission, ISPRA, December 1994.
- (4) OECD Test Guidelines Programme, Final Report of the OECD Workshop on Selection of Soils/Sediments, Belgirate, Italy, 18-20 January 1995 (June 1995).
- (5) US Environment Protection Agency: Pesticide Assessment Guidelines, Subdivision N, Chemistry: Environmental Fate. Series 163-1, Leaching and Adsorption/Desorption Studies, Addendum 6 on Data Reporting, 540/09-88-096, Date: 1/1988.
- (6) US Environment Protection Agency: Prevention, Pesticides and Toxic Substances, OPPTS Harmonized Test Guidelines, Series 835-Fate. Transport and Transformation Test Guidelines, OPPTS No: 835.1220 Sediment and Soil Adsorption/Desorption Isotherm. EPA No: 712-C-96-048, April 1996.
- (7) ASTM Standards, E 1195-85, Standard Test Method for Determining a Sorption Constant (K_{oc}) for an Organic Chemical in Soil and Sediments.
- (8) Agriculture Canada: Environmental Chemistry and Fate. Guidelines for registration of pesticides in Canada, 15 July 1987.
- (9) Netherlands Commission Registration Pesticides (1995): Application for registration of a pesticide. Section G. Behaviour of the product and its metabolites in soil, water and air.
- (10) Danish National Agency of Environmental Protection (October 1988): Criteria for registration of pesticides as especially dangerous to health or especially harmful to the environment.
- (11) BBA (1990), Guidelines for the Official Testing of Plant Protection Products, Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, Braunschweig, Germany.
- (12) Calvet R., (1989), 'Evaluation of adsorption coefficients and the prediction of the mobilities of pesticides in soils', in Methodological Aspects of the Study of Pesticide Behaviour in Soil (ed. P. Jamet), INRA, Paris, (Review).

- (13) Calvet R., (1980), 'Adsorption-Desorption Phenomena' in Interactions between herbicides and the soil. (R. J. Hance ed.), Academic Press, London, p. 83-122.
- (14) Hasset J. J., and Banwart W.L., (1989), The sorption of nonpolar organics by soils and sediments' in Reactions and Movement of Organic Chemicals in Soils. Soil Science Society of America (S.S.S.A), Special Publication no. 22, p. 31-44.
- (15) van Genuchten M. Th., Davidson J. M., and Wierenga P. J., (1974), 'An evaluation of kinetic and equilibrium equations for the prediction of pesticide movement through porous media'. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Vol. 38(1), p. 29-35.
- (16) McCall P. J., Laskowski D. A., Swann R. L., and Dishburger H. J., (1981), 'Measurement of sorption coefficients of organic chemicals and their use, in environmental fate analysis', in Test Protocols for Environmental Fate and Movement of Toxicants. Proceedings of AOAC Symposium, AOAC, Washington DC.
- (17) Lambert S. M, Porter P. E., and Schieferrstein R. H., (1965), 'Movement and sorption of chemicals applied to the soil'. Weeds, 13, p. 185-190.
- (18) Rhodes R. C, Belasco L. J., and Pease H. L., (1970) 'Determination of mobility and adsorption of agrochemicals in soils'. J.Agric.Food Chem., 18, p. 524-528.
- (19) Russell M. H., (1995), 'Recommended approaches to assess pesticide mobility in soil' in Environmental Behavior of Agrochemicals (ed. T. R. Roberts and P. C. Kearney). John Wiley & Sons Ltd.
- (20) Esser H. O., Hemingway R. J., Klein W., Sharp D. B., Vonk J. W. and Holland P. T., (1988), 'Recommended approach to the evaluation of the environmental behavior of pesticides', IUPAC Reports on Pesticides (24). Pure Appl. Chem., 60, p. 901-932.
- (21) Guth J. A., Burkhard N., and D. O. Eberle, (1976), 'Experimental models for studying the persistence of pesticides in soils'. Proc. BCPC Symposium: Persistence of Insecticides and Herbicides, p. 137-157, BCPC, Surrey, UK.
- (22) Furminge C. G. L., and Osgerby J. M., (1967), 'Persistence of herbicides in soil'. J. Sci. Fd Agric, 18, pp. 269-273.
- (23) Burkhard N., and Guth J. A., (1981), 'Chemical hydrolysis of 2-Chloro-4,6-bis(alkylamino)-1,3,5-triazine herbicides and their breakdown in soil under the influence of adsorption'. Pestic. Sci. 12, p. 45-52.
- (24) Guth J. A., Gerber H. R., and Schlaepfer T., (1977), 'Effect of adsorption, movement and persistence on the biological availability of soil-applied pesticides'. Proc. Br. Crop Prot. Conf., 3, p. 961-971.
- (25) Osgerby J. M., (1973), «Process affecting herbicide action in soil'. Pestic. Sci., 4, p. 247-258.
- (26) Guth J. A., (1972), 'Adsorptions- und Einwascheverhalten von Pflanzenschutzmitteln in Böden'. Schr. Reihe Ver. Wass. -Boden-Lufthyg. Berlin-Dahlem, Heft 37, p. 143-154.
- (27) Hamaker J. W., (1975), 'The interpretation of soil leaching experiments', in Environmental Dynamics of Pesticides (eds R. Haque and V.H. freed), p. 1 3 5-1 72, Plenum Press, NY.
- (28) Helling C. S., (1971), 'Pesticide mobility in soils'. Soil Sci. Soc. Amer. Proc, 35, p. 732-210.
- (29) Hamaker J. W., (1972), 'Diffusion and volatilization' in Organic chemicals in the soil environment (C.A.I. Goring and J. W. Hamaker eds). Vol. I, p. 49-143.
- (30) Burkhard N. and Guth J. A., (1981), 'Rate of volatilisation of pesticides from soil surfaces; Comparison of calculated results with those determined in a laboratory model system'. Pestic. Sci. 12, p. 37-44.
- (31) Cohen S. Z., Creeger S. M., Carsel R.F., and Enfield C.G., (1984), 'Potential pesticide contamination of groundwater from agricultural uses', in Treatment and Disposal of Pesticide Wastes, p. 297-325, Acs Symp. Ser. 259, American Chemical Society, Washington, DC.

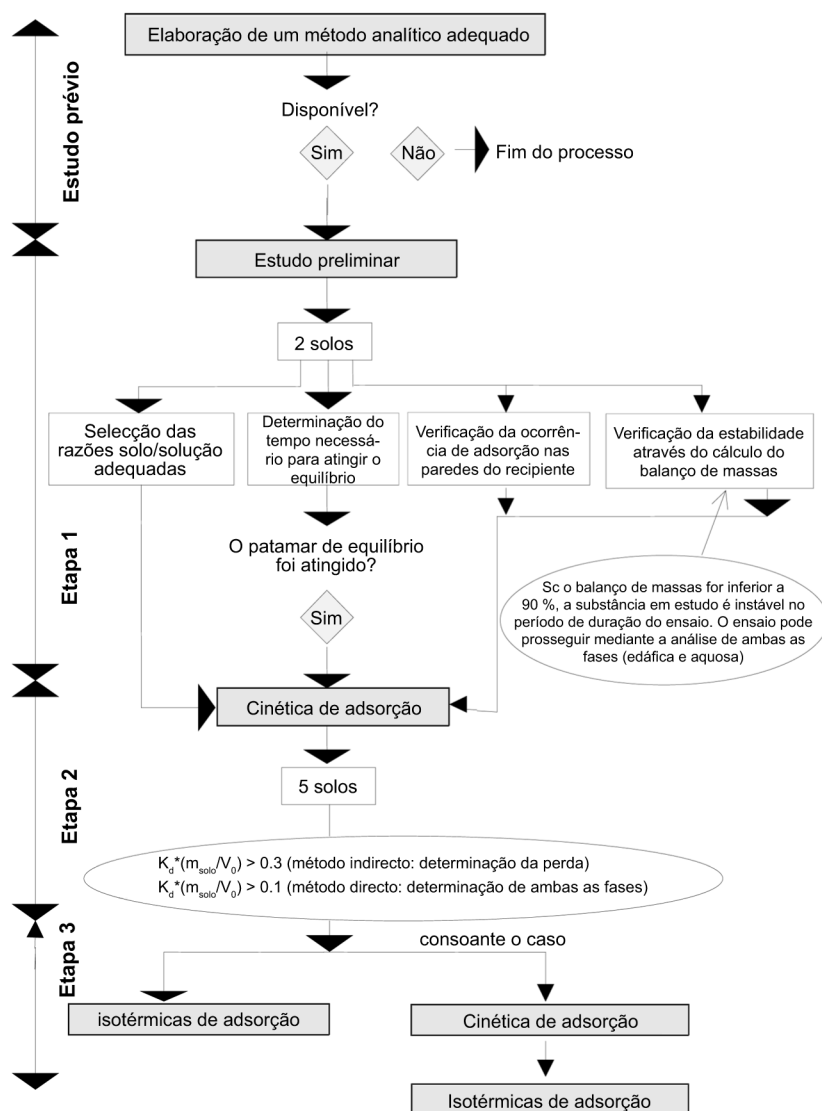
- (32) Gustafson D. I., (1989), 'Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability'. *J. Environ. Toxic. Chem.*, 8(4), p. 339-357.
- (33) Leistra M., and Dekkers W. A., (1976). 'Computed effects of adsorption kinetics on pesticide movement in soils'. *J. of Soil Sci.*, 28, p. 340-350.
- (34) Bromilov R. H., and Leistra M., (1980), 'Measured and simulated behavior of aldicarb and its oxydation products in fallow soils'. *Pest. Sci.*, 11, p. 389-395.
- (35) Green R. E., and Karickhoff S. W., (1990), 'Sorption estimates for modeling', in *Pesticides in the Soil Environment: Process, Impacts and Modeling* (ed. H.H. Cheng). *Soil Sci. Soc. Am., Book Series no. 2*, p. 80-101,
- (36) Lambert S. M., (1967), 'Functional relationship between sorption in soil and chemical structure'. *J. Agri. Food Chem.*, 15, p. 572-576.
- (37) Hance R. J., (1969), 'An empirical relationship between chemical structure and the sorption of some herbicides by soils'. *J. Agri. Food Chem.*, 17, p. 667-668.
- (38) Briggs G. G. (1969), 'Molecular structure of herbicides and their sorption by soils'. *Nature*, 223, 1288.
- (39) Briggs G. G. (1981). Theoretical and experimental relationships between soil adsorption, octanol-water partition coefficients, water solubilities, bioconcentration factors, and the parachor'. *J. Agric. Food Chem.*, 29, p. 1050-1059.
- (40) Sabljic A., (1984), 'Predictions of the nature and strength of soil sorption of organic polutance by molecular topology'. *J. Agric. Food Chem.*, 32, p. 243-246.
- (41) Bailey G. W., and White J. L., (1970), 'Factors influencing the adsorption, desorption, and movement of pesticides in soil'. *Residue Rev.*, 32, p. 29-92.
- (42) Bailey G. W., J. L. White and Y. Rothberg., (1968), 'Adsorption of organic herbicides by montmorillonite: Role of pH and chemical character of adsorbate'. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32: p. 222-234.
- (43) Karickhoff S. W., (1981), 'Semi-empirical estimation of sorption of hydrophobic pollutants on natural sediments and soils'. *Chemosphere* 10, p. 833-846.
- (44) Paya-Perez A., Riaz M. and Larsen B., (1989), 'Soil Sorption of 6 Chlorobenzenes and 20 PCB Congeners'. *Environ. Toxicol. Safety* 21, p. 1-17.
- (45) Hamaker J. W., and Thompson J. M., (1972), 'Adsorption in organic chemicals' in *Organic Chemicals in the Soil Environment* (Goring C.A.I. and Hamaker J.W., eds), Vol I and II, Marcel Dekker, Inc., New York, NY, 1972, p. 49-143.
- (46) Deli J., and Warren G. F., 1971, 'Adsorption, desorption and leaching of diphenamid in soils'. *Weed Sci.* 19: p. 67-69.
- (47) Chu-Huang Wu, Buehring N., Davinson J. M. and Santelmann, (1975), 'Napropamide Adsorption, desorption and Movement in soils'. *Weed Science*, Vol. 23, p. 454-457.
- (48) Haues M. H. B., Stacey M., and Thompson J. M., (1968), 'Adsorption of s-triazine herbicides by soil organic preparations' in *Isotopes and Radiation in Soil Organic Studies*, p. 75, International. Atomic Energy Agency, Vienna.
- (49) Pionke H. B., and Deangelis R. J., (1980), 'Methods for distributing pesticide loss in field run-off between the solution and adsorbed phase', *CREAMS*, in *A Field Scale Model for Chemicals, Run-off and Erosion from Agricultural Management Systems*, Chapter 19, Vol. III: Supporting Documentation, USDA Conservation Research report.

- (50) ISO Standard Compendium Environment: Soil Quality — General aspects: chemical and physical methods of analysis; biological methods of analysis. First Edition (1994).
- (51) Scheffer F., and Schachtschabel, Lehrbuch der Bodenkunde, F. Enke Verlag, Stuttgart (1982), 11 th edition.
- (52) Black, Evans D. D., White J. L., Ensminger L. E., and Clark F. E., eds. 'Methods of Soil Analysis', Vol 1 and 2, American Society of Agronomy, Madison, WI, 1982.
- (53) ISO/DIS 10381-1 Soil Quality — Sampling — Part 1: Guidance on the design of sampling programmes.
- (54) ISO/DIS 10381-2 Soil Quality — Sampling — Part 2: Guidance on sampling techniques.
- (55) ISO/DIS 10381-3 Soil Quality — Sampling — Part 3: Guidance on safety of sampling.
- (56) ISO/DIS 10381-4 Soil Quality — Sampling — Part 4: Guidance on the investigation of natural and cultivated soils.
- (57) ISO/DIS 10381-5 Soil Quality — Sampling — Part 5: Guidance on the investigation of soil contamination of urban and industrial sites.
- (58) ISO 10381-6, 1993: Soil Quality — Sampling — Part 6: Guidance on the collection, handling and storage of soil for the assessment of aerobic microbial processes in the laboratory.
- (59) Green R. E., and Yamane V. K., (1970), 'Precision in pesticide adsorption measurements'. Soil Sci. Am. Proc, 34, p. 35 3-354.
- (60) Grover R., and Hance R. J. (1970), 'Effect of ratio of soil to water on adsorption of linuron and atrazine'. Soil Sci., p. 109-138.
- (61) Boesten, J. J. T. I, 'Influence of soil/liquid ratio on the experimental error of sorption coefficients in pesticide/soil system'. Pest. Sci. 1990, 30, p. 31-41.
- (62) Boesten, J. J. T. I. 'Influence of soil/liquid ratio on the experimental error of sorption coefficients in relation to OECD guideline 106'. Proceedings of 5th international workshop on environmental behaviour of pesticides and regulatory aspects, Brussels, 26-29 April 1994.
- (63) Bastide J. Cantier J. M, et Coste C. (1980), 'Comportement de substances herbicides dans le sol en fonction de leur structure chimique'. Weed Res. 21, p. 227-231.
- (64) Brown D. S., and Flagg E. W., (1981), 'Empirical prediction of organic pollutants sorption in natural sediments'. J. Environ.Qual., 10(3), p. 382-386.
- (65) Chiou C. T., Porter P. E., and Schmedding D. W., (1983), 'Partition equilibria of non-ionic organic compounds between soil organic matter and water'. Environ. Sei. Technol., 17(4), p. 227-231.
- (66) Gerstl Z., and Mingelgrin U., (1984), 'Sorption of organic substances by soils and sediments'. J. Environm. Sci. Health, B19 (3), p. 297-312.
- (67) Vowles P. D., and Mantoura R. F. C, (1987), 'Sediment-water partition coefficient and HPLC retention factors of aromatic hydrocarbons'. Chemosphere, 16(1), p. 109-116.
- (68) Lyman W. J., Reehl W. F. and Rosenblatt D. H. (1990). Handbook of Chemical Property Estimation Methods. Environmental Behaviour of Organic Compounds. American Chemical Society, Washington DC.
- (69) Keniga E. E., and Goring, C. A. I. (1980). 'Relationship between water solubility, soil sorption, octanol-water partitioning and concentration of chemicals in the biota' in Aquatic Toxicology (eds J.G. Eaton, et al.), p. 78-115, ASTM STP 707, Philadelphia.

- (70) Chiou C. T., Peters L. J., and Freed V. H., (1979), 'A physical concept of soil-water equilibria for non-ionic organic compounds'. *Science*, Vol. 206, p. 831-832.
- (71) Hassett J. J., Banwart W. I., Wood S. G., and Means J. C., (1981), 'Sorption of/-Naphtol: implications concerning the limits of hydrophobic sorption'. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, p. 38-42.
- (72) Karickhoff S. W., (1981), 'Semi-empirical estimation of sorption of hydrophobic pollutants on natural sediments and soils'. *Chemosphere*, Vol. 10(8), p. 833-846.
- (73) Moreale A., van Bladel R., (1981), 'Adsorption de 13 herbicides et insecticides par le sol. Relation solubilité-reactivité'. *Revue de l'Agric.*, 34 (4), p. 319-322.
- (74) Müller M., Kördel W. (1996), 'Comparison of screening methods for the determination/estimation of adsorption coefficients on soil'. *Chemosphere*, 32(12), p. 2493-2504.
- (75) Kördel W., Kotthoff G., Müller M. (1995), 'HPLC — screening method for the determination of the adsorption coefficient on soil — results of a ring test'. *Chemosphere* 30 (7), p. 1373-1384.
- (76) Kördel W., Stutte J., Kotthoff G. (1993), 'HPLC — screening method for the determination of the adsorption coefficient on soil — comparison of different stationary phases'. *Chemosphere* 27 (12), p. 2341-2352.
- (77) Hance, R. J., (1967), 'The Speed of Attainment of Sorption Equilibria in Some Systems Involving Herbicides'. *Weed Research*, Vol. 7, p. 29-36.
- (78) Koskinen W. C. and Harper S. S., (1990), 'The retention processes: mechanisms' in *Pesticides in the Soil Environment: Processes, Impacts and Modelling* (ed. H.H. Cheng). *Soil Sci. Soc. Am. Book Series*, No. 2, Madison, Wisconsin.
- (79) Cohen S. Z., Creeger S. M., Carsel R. F., and Enfield C. G. (1984), 'Potential pesticide contamination of groundwater from agricultural uses', in *Treatment and Disposal of Pesticide Wastes*, p. 297-325, ACS Symp. Ser. 259, American Chemical Society, Washington, DC.
- (80) Giles C. H., (1970), 'Interpretation and use of sorption isotherms' in *Sorption and Transport Processes in Soils*. S.C.I. Monograph No. 37, p. 14-32.
- (81) Giles, C. H.; McEwan J. H.; Nakhwa, S.N. and Smith, D., (1960). 'Studies in adsorption: XI. A system of classification of solution adsorption isotherms and its use in the diagnosis of adsorption mechanisms and in measurements of pesticides surface areas of soils'. *J. Chem. Soc.*, p. 3973-3993.
- (82) Calvet R., Tercé M., and Arvien J. C., (1980), 'Adsorption des pesticides par les sols et leurs constituants: 3. Caractéristiques générales de l'adsorption'. *Ann. Agron.* 31: pp. 239-251.
- (83) Bedbur E., (1996), 'Anomalies in the Freundlich equation', *Proc. COST 66 Workshop, Pesticides in soil and the environment*, 13-15 May 1996, Stratford-upon-Avon, UK.
- (84) Guth, J. A., (1985), 'Adsorption/desorption', in *Joint International Symposium, Physicochemical Properties and their Role in Environmental Hazard Assessment*, July 1-3, Canterbury, UK.
- (85) Soil Texture Classification (US and FAO systems): *Weed Science*, 33, Suppl. 1 (1985) and *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 26:305 (1962).

Apêndice 1

Protocolo de ensaio



Apêndice 2

INFLUÊNCIA DO RIGOR DO MÉTODO ANALÍTICO E DAS ALTERAÇÕES DE CONCENTRAÇÃO NOS RESULTADOS DE ADSORÇÃO

A análise do quadro infra (84) torna evidente que, caso a diferença entre a massa inicial ($m_0 = 110 \mu\text{g}$) e a massa de equilíbrio ($m_{\text{aq}}^{\text{ads}}(\text{eq}) = 100 \mu\text{g}$) da substância em estudo na solução seja bastante reduzida, um erro de 5 % na determinação da concentração de equilíbrio resulta num erro de 50 % no cálculo do teor de substância adsorvida no solo ($m_s^{\text{ads}}(\text{eq})$) e de 52,4 % no cálculo de K_d .

Quantidade de solo $m_{\text{solo}} = 10 \text{ g}$

Volume de solução $V_0 = 100 \text{ cm}^3$

	$m_{\text{aq}}^{\text{ads}}(\text{eq})$ (μg)	$C_{\text{aq}}^{\text{ads}}(\text{eq})$ ($\mu\text{g cm}^{-3}$)	R	$m_s^{\text{ads}}(\text{eq})^*$ (μg)	$C_s^{\text{ads}}(\text{eq})^*$ ($\mu\text{g g}^{-1}$)	R‡	K_d^*	R‡
$m_0 = 110 \mu\text{g}$ ou $C_0 = 1,100 \mu\text{g/cm}^3$	A = 9 %							
	100	1,000	valor real	10	1,00	valor real	1	
	101	1,010	1 %	9	0,90	10 %	0,891	10,9 %
	105	1,050	5 %	5	0,50	50 %	0,476	52,4 %
	109	1,090	9 %	1	0,10	90 %	0,092	90,8 %
$m_0 = 110 \mu\text{g}$ ou $C_0 = 1,100 \mu\text{g/cm}^3$	A = 55 %							
	50,0	0,500	valor real	60,0	6,00	valor real	12,00	
	50,5	0,505	1 %	59,5	5,95	0,8 %	11,78	1,8 %
	52,5	0,525	5 %	57,5	5,75	4,0 %	10,95	8,8 %
	55,0	0,550	10 %	55,0	5,50	8,3 %	10,00	16,7 %
$m_0 = 110 \mu\text{g}$ ou $C_0 = 1,100 \mu\text{g/cm}^3$	A = 99 %							
	1,100	0,011	valor real	108,9	10,89	valor real	990	
	1,111	0,01111	1 %	108,889	10,8889	0,01 %	980	1,0 %
	1,155	0,01155	5 %	108,845	10,8845	0,05 %	942	4,8 %
	1,21	0,0121	10 %	108,790	10,8790	0,10 %	899	9,2 %

onde:

$$*m_s^{\text{ads}}(\text{eq}) = m_0 - m_{\text{aq}}^{\text{ads}}(\text{eq}), \quad C_s^{\text{ads}}(\text{eq}) = \frac{[C_0 - C_{\text{aq}}^{\text{ads}}(\text{eq})] V_0}{m_{\text{soil}}} \cdot K_d = \frac{m_s^{\text{ads}}(\text{eq})}{m_{\text{aq}}^{\text{ads}}(\text{eq})} \frac{V_0}{m_{\text{soil}}}$$

$m_s^{\text{ads}}(\text{eq})$ = massa da substância em estudo no solo, no estado de equilíbrio, μg

$m_{\text{aq}}^{\text{ads}}(\text{eq})$ = massa da substância em estudo na fase aquosa, no estado de equilíbrio, μg

$C_s^{\text{ads}}(\text{eq})$ = teor da substância em estudo no solo, no estado de equilíbrio, $\mu\text{g g}^{-1}$

$C_{\text{aq}}^{\text{ads}}(\text{eq})$ = concentração mássica da substância em estudo na fase aquosa, no estado de equilíbrio, $\mu\text{g cm}^{-3}$

R = erro analítico na determinação de $m_{\text{aq}}^{\text{ads}}(\text{eq})$;

R‡ = erro calculado devido ao erro analítico R.

Apêndice 3

TÉCNICAS DE ESTIMATIVA DE K_D

1. O recurso a técnicas de estimativa permite prever o valor de K_d com base na correlação, nomeadamente com os valores de P_{ow} (12) (39) (63-68), solubilidade em água (12) (19) (21) (39) (68-73) ou polaridade decorrentes da análise por HPLC de fase reversa (74-76) Como se mostra nos quadros 1 e 2, os valores de K_{oc} e K_{om} são calculados com base nas equações que se seguem, sendo o valor de K_d determinado de forma indirecta:

$$K_{oc} = K_d \cdot \frac{100}{\%oc} \text{ (cm}^3 \text{ g}^{-1}\text{)}$$

$$K_{om} = \frac{K_d}{1,724} \cdot \frac{100}{\%oc} \text{ (cm}^3 \text{ g}^{-1}\text{)}$$

2. As referidas correlações baseiam-se em dois pressupostos: (1) o teor de matéria orgânica de um solo é o principal factor determinante da adsorção de uma substância nesse solo: (2) as interacções envolvidas são principalmente não polares. Em consequência, as referidas correlações: (1) não são aplicáveis, ou apenas são parcialmente aplicáveis, a substâncias polares: (2) não são aplicáveis aos casos em que o teor de matéria orgânica dos solos seja bastante reduzido (12). Além disso, embora seja possível obter correlações satisfatórias entre os valores de P_{ow} e da adsorção (19), o mesmo não sucede no que respeita à relação entre a solubilidade em água e a extensão da adsorção (19) (21): os estudos realizados até ao presente têm-se revelado bastante contraditórios.
3. Os quadros 1 e 2, respectivamente, fornecem alguns exemplos de correlações entre os coeficientes de adsorção e os coeficientes de partição octanol-água, bem como a solubilidade em água.

Quadro 1.

Exemplos de correlações entre o coeficiente de distribuição de adsorção e o coeficiente de partição octanol-água: para mais exemplos, ver as referências (12) (68)

Substâncias	Correlações	Autores
Diversos pesticidas	$\log K_{om} = 0,69 + 0,52 \log P_{ow}$	Briggs (1981) (39)
Compostos aromáticos clorados	$\log K_{oc} = -0,779 + 0,904 \log P_{ow}$	Chiou <i>et al.</i> (1983) (65)
Diversos pesticidas	$\log K_{om} = 4,4 + 0,72 \log P_{ow}$	Gerstl e Mingelgrin (1984) (66)
Hidrocarbonetos aromáticos	$\log K_{oc} = -2,53 + 1,15 \log P_{ow}$	Vowles e Mantoura (1987) (67)

Quadro 2.

Exemplos de correlações entre o coeficiente de distribuição de adsorção e a solubilidade em água; para mais exemplos, ver as referências (68) (69)

Substâncias	Correlações	Autores
Diversos pesticidas	$\log K_{om} = 3,8 - 0,561 \log S_w$	Gerstl e Mingelgrin (1984) (66)
Compostos alifáticos e aromáticos clorados	$\log K_{om} = (4,040 \pm 0,038) - (0,557 \pm 0,012) \log S_w$	Chiou <i>et al.</i> (1979) (70)
α -naphthol	$\log K_{oc} = 4,273 - 0,686 \log S_w$	Hasset <i>et al.</i> (1981) (71)
Compostos cíclicos (alifáticos e aromáticos)	$\log K_{oc} = -1,405 - 0,921 \log S_w - 0,00953 \text{ (mp-25)}$	Karickhoff (1981) (72)
Diversas substâncias	$\log K_{om} = 2,75 - 0,45 \log S_w$	Moreale van Blade (1982) (73)

Apêndice 4

CÁLCULOS PARA A DEFINIÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CENTRIFUGAÇÃO

1. O tempo de centrifugação é dado pela seguinte fórmula, presumindo que as partículas possuem forma esférica:

$$t = \frac{9}{2} \left[\frac{\eta}{\omega^2 r_p^2 (\rho_s - \rho_{aq})} \right] \ln(R_b/R_t) \quad (1)$$

Por motivos de simplificação, todos os parâmetros são apresentados em unidades não pertencentes ao SI (g, cm).

ω = velocidade angular ($= 2 \pi \text{ rpm}/60$), rad s^{-1} ;

rpm = rotações por minuto;

η = viscosidade da solução, $\text{g s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$;

r_p = raio das partículas, cm;

ρ_s = densidade do solo, g cm^{-3} ;

ρ_{aq} = densidade da solução, g cm^{-3} ;

R_t = distância do centro do rotor da centrífugadora ao topo da solução no tubo de ensaio, cm;

R_b = distância do centro do rotor da centrífugadora à base do tubo de ensaio, cm;

$R_b - R_t$ = altura da mistura solo/solução no tubo de ensaio, cm.

Na prática, devem utilizar-se tempos duplos dos calculados, de modo a garantir a separação completa.

2. A equação (1) pode ser simplificada, considerando que a viscosidade (η) e a densidade (ρ_{aq}) da solução são iguais à viscosidade e densidade da água a 25 °C; obtém-se, assim, $n = 8,95 \times 10^{-3} \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ and $\rho_{aq} = 1,0 \text{ g cm}^{-3}$.

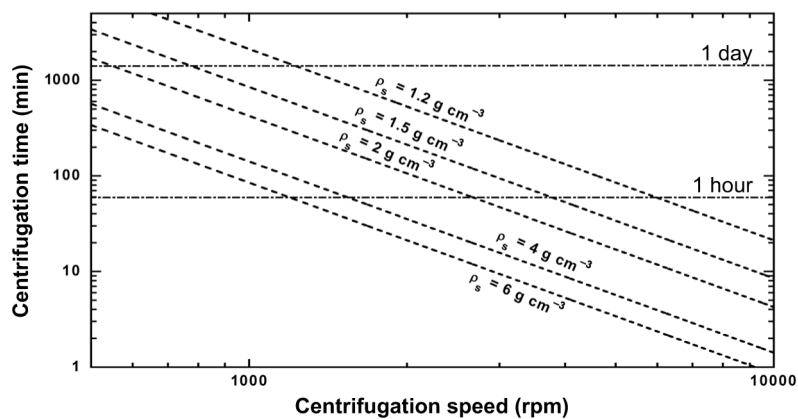
O tempo de centrifugação é dado pela fórmula (2):

$$t = \frac{3.7}{(\text{rpm})^2 \cdot r_p^2 (\rho_s - 1)} \ln \frac{R_b}{R_t} \quad (2)$$

3. A equação 2 mostra a importância de dois parâmetros, designadamente o tempo (t) e a velocidade (rpm), na definição das condições de centrifugação tendo em vista a separação de partículas de dimensões específicas (no caso em estudo 0,1 μm radianos): (1) a densidade do solo e (2) a altura da mistura no tubo de ensaio ($R_b - R_t$), ou seja, a distância entre o topo da solução e a base do tubo; como é óbvio, para um determinado volume, a altura da mistura no tubo depende do quadrado do respectivo raio.
4. A figura 1 apresenta o gráfico da variação do tempo de centrifugação (t) em função da velocidade de centrifugação (rpm), para solos de densidades diversas (ρ_s) (fig. 1a) e diversas alturas da mistura nos tubos de ensaio (fig. 1b). A figura 1a evidencia a influência da densidade do solo; por exemplo, para um perfil de centrifugação clássico de 3 000 rpm o tempo de centrifugação é da ordem de 240 minutos para um solo de 1,2 g cm^{-3} de densidade, sendo de apenas 50 minutos para uma densidade de 2,0 g cm^{-3} . Do mesmo modo, a figura 1b mostra que, para um perfil de centrifugação clássico de 3 000 rpm o tempo de centrifugação é de cerca de 50 minutos para uma altura da mistura de 10 cm e apenas 7 minutos para uma altura de 1 cm. Todavia, é conveniente adoptar um equilíbrio adequado entre o requisito de menor altura possível na centrifugação e a facilidade de manipulação pelo experimentador na separação das fases após a centrifugação.
5. Além disso, na definição das condições experimentais para a separação de fases solo/solução é conveniente ter em conta a possível existência de uma «pseudofase» coloidal. As partículas coloidais, de diâmetro inferior a 0,2 μm , podem apresentar um impacto considerável no mecanismo de adsorção de uma substância numa suspensão de solo. Sempre que se executa uma centrifugação do modo descrito *supra*, os colóides permanecem na fase aquosa, sendo objecto de análise juntamente com esta última. Perdem-se, pois, as informações referentes ao seu impacto.

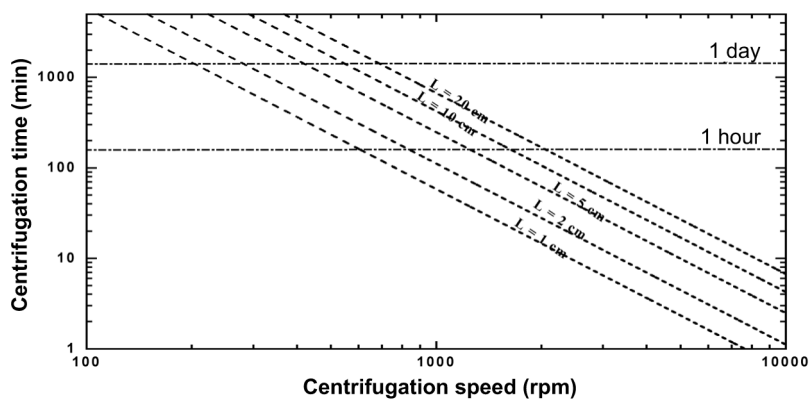
Caso o laboratório possua condições para efectuar ultracentrifugação ou ultrafiltração, a adsorção/dessorção de uma substância no solo pode ser estudada de modo mais aprofundado, permitindo obter informações sobre a adsorção da substância nos colóides. Neste caso, deve efectuar-se uma ultracentrifugação a 60 000 rpm/minuto ou uma ultrafiltração com um filtro de 100 000 Daltons de porosidade, de modo a separar as três fases (solo, colóides, solução). O protocolo de ensaio deve também ser alterado de modo a assegurar a determinação da substância em estudo nas três fases.

Fig. 1a.



Variação do tempo de centrifugação (t) em função da velocidade de centrifugação (rpm), para solos de diversas densidades (ρ_s). $R_t = 10 \text{ cm}$, $R_b - R_t = 10 \text{ cm}$, $\eta = 8,95 \times 10^{-3} \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ e $\rho_{aq} = 1,0 \text{ g cm}^{-3}$ a 25°C .

Fig. 1b.

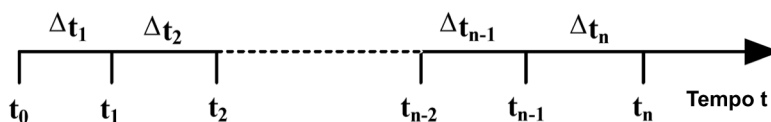


Variação do tempo de centrifugação (t) em função da velocidade de centrifugação (rpm) para diversas alturas da mistura nos tubos de ensaio (R_t , R_b) - L ; $R_t = 10 \text{ cm}$, $\eta = 8,95 \times 10^{-3} \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, $\rho_{aq} = 1,0 \text{ g cm}^{-3}$ a 25°C e $\rho_s = 2,0 \text{ g cm}^{-3}$.

Apêndice 5

CÁLCULO DA ADSORÇÃO A (%) E DA DESSORÇÃO D (%)

O esquema cronológico do ensaio é o seguinte:



Em todos os cálculos, presume-se que a substância de ensaio é estável e não exibe uma adsorção significativa nas paredes do recipiente.

ADSORÇÃO A (A %)

a) Método paralelo

Para cada tubo de ensaio (i), a percentagem de adsorção em cada instante (t_i) é calculada de acordo com a equação:

$$A_{t_i} = \frac{m_s^{\text{ads}}(t_i) \cdot 100}{m_0} (\%) \quad (1)$$

Os termos da equação podem ser calculados do seguinte modo:

$$m_0 = C_0 \cdot V_0 (\mu\text{g}) \quad (2)$$

$$m_s^{\text{ads}}(t_i) = m_0 - C_{\text{aq}}^{\text{ads}}(t_i) \cdot V_0 (\mu\text{g}) \quad (3)$$

em que:

A_{t_i} = percentagem de adsorção (%) no instante t_i ;

$m_s^{\text{ads}}(t_i)$ = massa da substância em estudo presente no solo no instante t_i em que a análise é efectuada (μg)

m_0 = massa da substância em estudo presente no tubo de ensaio no início do mesmo (μg)

C_0 = concentração ponderal inicial da solução em contacto com o solo ($\mu\text{g cm}^{-3}$)

$C_{\text{aq}}^{\text{ads}}(t_i)$ = concentração ponderal da substância na fase aquosa no instante t_i em que a análise é efectuada ($\mu\text{g cm}^{-3}$); a determinação analítica desta concentração tem em conta os valores obtidos nos ensaios em branco.

V_0 = volume inicial de solução em contacto com o solo (cm^3).

Os valores relativos à percentagem de adsorção A_{t_i} ou $C_{\text{aq}}^{\text{ads}}(t_i)$ são representados graficamente em função do tempo, determinando-se o tempo necessário para atingir o estado de equilíbrio. As figuras 1 e 2, respectivamente, fornecem exemplos das representações em causa.

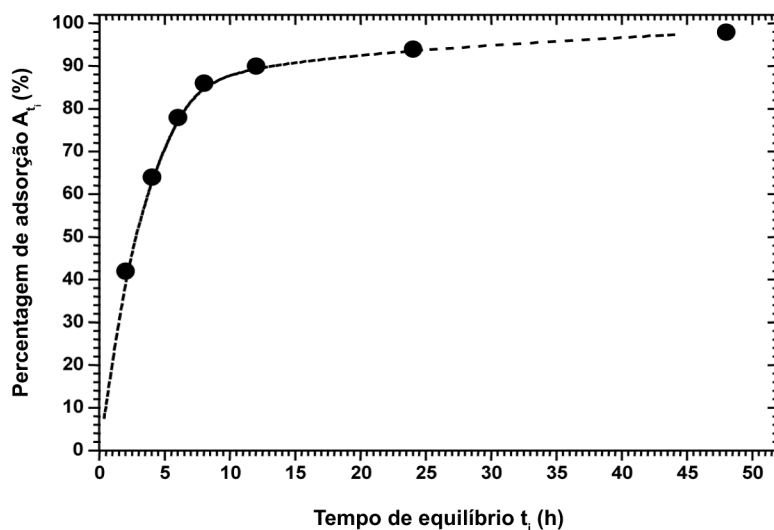


Figura 1.

Representação gráfica do equilíbrio de adsorção

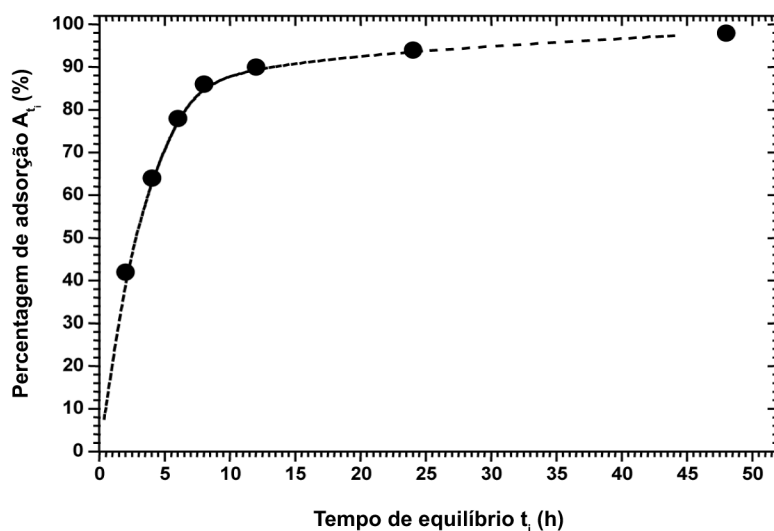


Fig. 2.

Concentração mássica da substância em estudo na fase aquosa (C_{aq}) em função do tempo

b) Método sequencial

As equações que se seguem têm em consideração o facto de o ensaio de adsorção se basear em determinações da substância em estudo em pequenas alíquotas da fase aquosa, a intervalos específicos.

— A quantidades de substância adsorvida no solo em cada intervalo é calculada do seguinte modo:

— primeiro intervalo $\Delta t_1 = t_1 - t_0$

$$m_s^{\text{ads}}(\Delta t_1) = m_0 - m_m^{\text{ads}}(t_1) \cdot \left(\frac{V_0}{V_a^A} \right) \quad (4)$$

— segundo intervalo $\Delta t_2 = t_2 - t_1$

$$m_s^{\text{ads}}(\Delta t_2) = m_m^{\text{ads}}(t_1) \cdot \left(\frac{V_0}{v_a^A} \right) - m_m^{\text{ads}}(t_2) \cdot \left(\frac{V_0 - v_a^A}{v_a^A} \right) \quad (5)$$

— terceiro intervalo $\Delta t_3 = t_3 - t_2$

$$m_s^{\text{ads}}(\Delta t_3) = m_m^{\text{ads}}(t_2) \cdot \left(\frac{V_0 - v_a^A}{v_a^A} \right) - m_m^{\text{ads}}(t_3) \cdot \left(\frac{V_0 - 2 \cdot v_a^A}{v_a^A} \right) \quad (6)$$

— enésimo intervalo $\Delta t_n = t_n - t_{n-1}$

$$m_s^{\text{ads}}(\Delta t_n) = m_m^{\text{ads}}(t_{n-1}) \cdot \left(\frac{V_0 - (n-2) \cdot v_a^A}{v_a^A} \right) - m_m^{\text{ads}}(t_n) \cdot \left(\frac{V_0 - (n-1) \cdot v_a^A}{v_a^A} \right) \quad (7)$$

— A percentagem de adsorção em cada intervalo, $A_{\Delta t_i}$, é calculada por recurso à seguinte equação:

$$A_{\Delta t_i} = \frac{m_s^{\text{ads}}(\Delta t_i)}{m_0} \cdot 100 \text{ (}\%) \quad (8)$$

enquanto que a percentagem de adsorção A_{t_i} no instante t_i é dada por:

$$A_{t_i} = \frac{\sum_{j=\Delta t_1}^{\Delta t_i} m_s^{\text{ads}}(j)}{m_0} \cdot 100 \text{ (}\%) \quad (9)$$

Os valores correspondentes à adsorção, A_{t_i} ou $A_{\Delta t_i}$ (de acordo com o objectivo do estudo) são representados graficamente em função do tempo, determinando-se o tempo necessário para atingir o estado de equilíbrio.

— No instante de equilíbrio t_{eq} :

— a massa de substância em estudo adsorvida no solo é dada por:

$$m_s^{\text{ads}}(\text{eq}) = \sum_{\Delta t_i=1}^n m_s^{\text{ads}}(\Delta t_i) \quad (10)$$

— a massa de substância em estudo na solução é dada por:

$$m_{\text{aq}}^{\text{ads}}(\text{eq}) = m_0 - \sum_{\Delta t_i=1}^n m_s^{\text{ads}}(\Delta t_i) \quad (11)$$

— a percentagem de adsorção no estado de equilíbrio é calculada com base na equação:

$$A_{\text{eq}} = \frac{m_s^{\text{ads}}(\text{eq})}{m_0} \cdot 100 \text{ (}\%) \quad (12)$$

Os parâmetros utilizados são definidos do seguinte modo:

$m_s^{\text{ads}}(\Delta t_1), m_s^{\text{ads}}(\Delta t_2), \dots, m_s^{\text{ads}}(\Delta t_n)$ = massa de substância adsorvida no solo nos intervalos $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$ respectivamente (μg);

$m_m^{\text{ads}}(t_1), m_m^{\text{ads}}(t_2), \dots, m_m^{\text{ads}}(t_n)$ = massa de substância em estudo determinada numa alíquota v_a^A nos intervalos t_1, t_2, t_n respectivamente (μg);

$m_s^{\text{ads}}(\text{eq})$ = massa de substância adsorvida no solo no estado de equilíbrio de adsorção (μg);

$m_{\text{aq}}^{\text{ads}}(\text{eq})$ = massa de substância presente na solução no estado de equilíbrio de adsorção (μg);

v_a^A = volume da alíquota em que se determina a substância em estudo (cm^3);

$A_{\Delta t_i}$ = percentagem de adsorção correspondente ao intervalo Δt_i (%);

A_{eq} = percentagem de adsorção no estado de equilíbrio de adsorção (%).

DESSORÇÃO D (%)

Considera-se que o ensaio de cinética de dessorção tem início no instante t_0 em que o volume máximo recuperado da solução da substância em estudo (após atingir o equilíbrio de adsorção) é substituído pelo mesmo volume de solução de CaCl_2 , 0,01 M.

a) *Método paralelo*

Num determinado instante t_i , determina-se a massa da substância em estudo presente na fase aquosa recolhida do tubo i (V_r^i), calculando-se a massa dessorvida de acordo com a equação:

$$m_{aq}^{des}(t_i) = m_m^{des}(t_i) \cdot \left(\frac{V_0}{V_r^i} \right) - m_{aq}^A \quad (13)$$

No estado de equilíbrio de dessorção, $t_i = t_{eq}$ e, portanto, $m_{aq}^{des}(t_i) = m_{aq}^{des}(eq)$

A massa de substância em estudo dessorvida no intervalo Δt_i é dada pela equação:

$$m_{aq}^{des}(\Delta t_i) = m_{aq}^{des}(t_i) - \sum_{j=1}^{i-1} m_{aq}^{des}(j) \quad (14)$$

A percentagem de dessorção é calculada do seguinte modo:

num instante t_i , com base na equação:

$$D_{t_i} = \frac{m_{aq}^{des}(t_i)}{m_s^{ads}(eq)} \cdot 100 \text{ (%) } \quad (15)$$

num intervalo Δt_i , com base na equação:

$$D_{\Delta t_i} = \frac{m_{aq}^{des}(\Delta t_i)}{m_s^{ads}(eq)} \cdot 100 \text{ (%) } \quad (16)$$

em que:

- D_{t_i} = percentagem de dessorção no instante t_i (%);
- $D_{\Delta t_i}$ = percentagem de dessorção correspondente ao intervalo Δt_i (%);
- $m_{aq}^{des}(t_i)$ = massa de substância em estudo dessorvida no instante t_i , (μg);
- $m_{aq}^{des}(\Delta t_i)$ = massa de substância em estudo dessorvida no intervalo Δt_i (μg);
- $m_m^{des}(t_i)$ = massa de substância em estudo determinada analiticamente no instante t_i num volume V_r^i , de solução recolhida para análise (μg);
- m_{aq}^A = massa de substância em estudo excluída do equilíbrio de adsorção devido a substituição incompleta de volumes (μg).

$$m_{aq}^A = m_{aq}^{ads}(eq) \cdot \left(\frac{V_0 - V_R}{V_0} \right) \quad (17)$$

$m_{aq}^{ads}(eq)$ = massa de substância em estudo presente na solução no estado equilíbrio de adsorção (μg).

V_R = volume de sobrenadante removido do tubo depois de atingido o estado de equilíbrio de adsorção e substituído pelo mesmo de solução de CaCl_2 0,01 M (cm^3);

V_r^i = volume de solução recolhido do tubo (i) para a determinação da substância em estudo, no ensaio de cinética de dessorção (cm^3)

Os valores correspondentes à dessorção D_{t_i} or $D_{\Delta t_i}$ (de acordo com o objectivo do estudo) são representados graficamente em função do tempo, determinando-se o tempo necessário para atingir o estado de equilíbrio.

b) *Método sequencial*

As equações que se seguem têm em consideração o facto de o ensaio de adsorção precedente se basear em determinações da substância em estudo em pequenas alíquotas ((v_a^A)) da fase aquosa (método sequencial descrito na secção 1.9. «Realização do ensaio»). Presume-se que: a) o volume de sobrenadante removido do tubo na sequência do ensaio de cinética de adsorção foi substituído pelo mesmo volume de solução de CaCl_2 0,01 M (V_R); e b) o volume total da fase aquosa em contacto com o solo (V_T) durante o ensaio de cinética de dessorção permanece constante, sendo dado pela equação:

$$V_T = V_0 - \sum_{i=1}^n v_a^A(i) \quad (18)$$

Num determinado instante t_i :

- Determina-se a massa da substância em estudo presente numa pequena alíquota ((v_a^D)), calculando-se a massa dessorvida de acordo com a equação:

$$m_{aq}^{des}(t_i) = m_m^{des}(t_i) \cdot \left(\frac{V_T}{v_a^D}\right) - m_{aq}^A \cdot \left(\frac{(V_T - (i-1) \cdot v_a^D)}{V_T}\right) \quad (19)$$

- No estado de equilíbrio de dessorção $t_i = t_{eq}$ e, portanto, $m_{aq}^{des}(t_i) = m_{aq}^{des}(eq)$.

- A percentagem de dessorção D_{t_i} é calculada por recurso à equação:

$$D_{t_i} = \frac{m_{aq}^{des}(t_i)}{m_s^{ads}(eq)} \cdot 100 \text{ (\%)} \quad (20)$$

Num intervalo (Δt_i):

A quantidade de substância dessorvida em cada intervalo é calculada do seguinte modo:

- primeiro intervalo $\Delta t_i = t_1 - t_0$

$$m_{aq}^{des}(\Delta t_1) = m_m^{des}(t_1) \cdot \left(\frac{V_T}{v_a^D}\right) - m_{aq}^A \text{ and } m_s^{des}(t_1) = m_s^{aq}(eq) - m_{aq}^{des}(\Delta t_1) \quad (21)$$

- segundo intervalo $\Delta t_i = t_2 - t_1$

$$m_{aq}^{des}(\Delta t_2) = m_m^{des}(t_2) \cdot \left(\frac{V_T}{v_a^D}\right) - m_{aq}^{des}(\Delta t_1) \cdot \left(\frac{(V_T - v_a^D)}{V_T}\right) - m_{aq}^A \cdot \left(\frac{(V_T - v_a^D)}{V_T}\right) \text{ and} \\ m_s^{des}(t_2) = m_s^{ads}(eq) - [m_{aq}^{des}(\Delta t_1) + m_{aq}^{des}(\Delta t_2)] \quad (22)$$

- enésimo intervalo $\Delta t_n = t_n - t_{n-1}$

$$m_{aq}^{des}(\Delta t_n) = \left[m_m^{des}(t_n) \cdot \left(\frac{V_T}{v_a^D}\right) - m_{aq}^A \cdot \left(\frac{(V_T - (n-1) \cdot v_a^D)}{V_T}\right) - \sum_{i=1, n \neq 1}^{n-1} \left(\frac{(V_T - (n-i) \cdot v_a^D)}{V_T} \cdot m_{aq}^{des}(\Delta t_i)\right) \right] \\ \text{and} \\ m_s^{des}(t_n) = m_s^{ads}(eq) - \sum_{i=1, n \neq 1}^n m_{aq}^{des}(\Delta t_i) \quad (23)$$

Por fim, a percentagem de dessorção em cada intervalo, $D_{\Delta t_i}$, é calculada por recurso à seguinte equação:

$$D_{\Delta t_i} = \frac{m_{aq}^{des}(\Delta t_i)}{m_s^{ads}(eq)} \cdot 100(\%) \quad (24)$$

enquanto que a percentagem de dessorção D_{t_i} no instante t_i é dada por:

$$D_{t_i} \frac{\sum_{j=\Delta t_1}^{\Delta t_i} m_{aq}^{des}(j)}{m_s^{ads}(eq)} \cdot 100 = \frac{m_{aq}^{des}(t_i)}{m_s^{ads}(eq)} \cdot 100(\%) \quad (25)$$

os parâmetros supra são definidos do seguinte modo:

- $m_s^{des}(\Delta t_1), m_s^{des}(\Delta t_2), \dots, m_s^{des}(\Delta t_n)$ = massa de substância que permanece adsorvida no solo nos intervalos $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$ respectivamente (μg);
- $m_{aq}^{des}(\Delta t_1), m_{aq}^{des}(\Delta t_2), \dots, m_{aq}^{des}(\Delta t_n)$ = massa de substância em estudo dessorvida nos intervalos $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$ respectivamente (μg);
- $m_m^{des}(t_1), m_m^{des}(t_2), \dots, m_m^{des}(t_n)$ = massa de substância determinada numa alíquota (v_a^D) nos instantes $t_1, t_2, \dots, t_n$, respectivamente (μg);
- V_T = volume total da fase aquosa em contacto com o solo durante o ensaio de cinética de dessorção efectuado pelo método sequencial (cm^3);
- m_{aq}^A = massa de substância em estudo excluído do equilíbrio de adsorção devido a substituição incompleta de volumes (μg)

$$m_{aq}^A = \left(\frac{\left(V_0 - \sum_{i=1}^n v_a^A(i) \right) - V_R}{\left(V_0 - \sum_{i=1}^n v_a^A(i) \right)} \right) \cdot m_{aq}^{ads}(eq) \quad (26)$$

- V_R = volume de sobrenadante removido do tubo após atingir o estado de equilíbrio de adsorção e substituído pelo mesmo volume de solução de $CaCl_2$ 0,01 M (cm^3);
- v_a^D = volume da alíquota recolhida do tubo para fins analíticos (i), durante o ensaio de cinética de dessorção efectuado pelo método sequencial (cm^3);

$$v_a^D \leq 0,02 \cdot V_T \quad (27)$$

Apêndice 6

ADSORÇÃO-DESSORÇÃO EM SOLOS: FICHA DE APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Substância ensaiada:

Solo ensaiado:

Massa seca do solo (105°C, 12 h): %

Temperatura: °C

Adequabilidade do método analítico

Massa da amostra de solo	g	
Massa seca de solo	g	
Volume de solução de CaCl ₂	cm ³	
Concentração nominal final da solução	µg cm ⁻³	
Concentração analítica final da solução	µg cm ⁻³	

Princípio do método analítico utilizado:

Calibração do método analítico:

Substância ensaiada:

Solo ensaiado:

Massa seca do solo (105 °C, 12 h): %

Temperatura: °C

Metodologia analítica adoptada:

Método ☐
indirectoMétodo ☐
paraleloMétodo ☐
sequencialMétodo ☐
directo

Ensaio de adsorção: amostras

	Símbolo	Unidades	Tempo neces- sário para atingir o equi- líbrio		Tempo neces- sário para atingir o equi- líbrio		Tempo neces- sário para atingir o equi- líbrio		Tempo necessá- rio para atingir o equilíbrio	
Tubo n.º										
Solo: massa determinada	—	g								
Solo: massa seca	m _{solo}	g								
Volume calculado de humidade no solo	V _{ws}	cm ³								

	Símbolo	Unidades	Tempo neces- sário para atingir o equi- líbrio		Tempo neces- sário para atingir o equi- líbrio		Tempo neces- sário para atingir o equi- líbrio		Tempo necesá- rio para atingir o equilíbrio	
Volume de solução de CaCl_2 0,01 M necessário para equili- brar o solo		cm^3								
Volume de solução-mãe		cm^3								
Volume total da fase aquosa em contacto com o solo	v_0	cm^3								
Concentração inicial da solução de ensaio	c_0	$\mu\text{g cm}^3$								
Massa de substância em estudo no início do ensaio	m_0	μg								

Após agitação e centrifugação

MÉTODO INDIRECTO

Método paralelo

Concentração da substância em estudo na fase aquosa, incluindo d correcção deco- rrente do ensaio em branco	$C_{\text{aq}}^{\text{ads}}(t_i)$	$\mu\text{g cm}^{-3}$								

Método sequencial

Massa de substância em estudo determinada na alíquota V_a^A	$m_m^{\text{ads}}(t_i)$	μg								

MÉTODO DIRECTO

Massa da substância em estudo adsorvida no solo	$m_s^{\text{ads}}(t_i)$	μg								

Cálculo da adsorção

Adsorção	A_{t_i}	%								
	$A_{\Delta t_i}$	%								
Método										
Coeficiente de adsorção	K_d	$\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$								
Método										
Coeficiente de adsorção	K_{oc}	$\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$								
Método										

Substância ensaiada:

Solo ensaiado:

Massa seca de solo (105°C, 1 2 h): %

Temperatura: °C

Adsorção: ensaios em branco e de controlo

	Símbolo	Unidades	Branco		Branco		Controlo	
Tubo n.º								
Massa da amostra de solo		g					0	0
Teor de humidade calculado no solo		cm ³					—	—
Volume de solução de CaCl ₂ 0,01 M adicionado		cm ³						
Volume de solução-mãe da substância em estudo adicionado		cm ³	0	0				
Volume total da fase aquosa (calculado)		cm ³					—	—
Concentração inicial da substância em estudo na fase aquosa		µg cm ⁻³						
Após agitação e centrifugação								
Concentração da fase aquosa		µg cm ⁻³						

Nota: Aditar colunas suplementares, se necessário.

Substância ensaiada:

Solo ensaiado:

Massa seca do solo (105°C, 1 2 h): %

Temperatura: °C

Balanço de massas

	Símbolo	Unidades				
Tubo n.º						
Massa da amostra de solo	—	g				
Massa seca de solo	m _{solo}	g				
Volume de água calculado no solo	V _{WS}	ml				
Volume de solução de CaCl ₂ 0,01 M necessário para equilibrar o solo		ml				
Volume de solução-mãe		cm ³				
Volume total de fase aquosa em contacto com o solo	v ₀	cm ³				
Concentração inicial da solução de ensaio	C ₀	µg cm ⁻³				
Tempo necessário para atingir o equilíbrio	—	h				

Após agitação e centrifugação						
Concentração da substância em estudo na fase aquosa no estado de equilíbrio de adsorção, incluindo a correcção decorrente do ensaio em branco	$C_{aq}^{ads} (eq)$	$\mu g\ cm^{-3}$				
Tempo necessário para atingir o equilíbrio	t_{eq}	h				
Primeira diluição com solvente						
Volume de fase aquosa removido	V_{rec}	cm^3				
Volume de solvente adicionado	ΔV	cm^3				
Primeira extração com solvente						
Intensidade do sinal do detector (solvente)	S_{EI}	var.				
Concentração da substância em estudo no solvente	C_{EI}	$\mu g\ cm^{-3}$				
Massa de substância extraída do solo e das paredes do recipiente	m_{E1}	μg				
Segunda diluição com solvente com solvente						
Volume de solvente removido	ΔV_s	cm^3				
Volume de solvente adicionado	$\Delta V'$	cm^3				
Segunda extração com solvente						
intensidade do sinal do detector (solvente)	S_{E2}	var.				
Concentração da substância em estudo no solvente	C_{E2}	$\mu g\ cm^{-3}$				
Massa de substância extraída do solo e das paredes do recipiente	m_{E2}	μg				
Massa total de substância em estudo extraída nas duas etapas	m_E	μg				
Balanço de massas	MB	%				

Substância ensaiada:

Solo ensaiado:

Massa seca de solo (105°C, 12 h): %

Temperatura: °C

Isotérmicas de adsorção

	Símbolo	Unidades								
Tubo n.º										
Massa da amostra de solo	—	g								
Massa seca de solo	E	g								

	Símbolo	Unidades								
Volume de água calculado no solo	V_{ws}	cm^3								
Volume de solução de CaCl_2 0,01 M necessário para equilibrar o solo		cm^3								
Volume de solução-mãe adicionado		cm^3								
Volume total de fase aquosa em contacto com o solo (calculado)	v_0	cm^3								
Concentração da solução	C_0	$\mu\text{g cm}^3$								
Tempo necessário para atingir o equilíbrio	—	h								
Após agitação e centrifugação										
Concentração da substância na fase aquosa, incluindo a correcção decorrente do ensaio em branco	$C_{aq}^{ads}(\text{eq})$	$\mu\text{g cm}^{-3}$								
Temperatura		$^{\circ}\text{C}$								
Massa adsorvida por unidade de solo	$C_s^{ads}(\text{eq})$	$\mu\text{g g}^{-1}$								

Análise por regressão linear:

valor de KK_F^{ads} :

valor de $1/n$:

coeficiente de regressão r^2 :

Substância ensaiada:

Solo ensaiado:

Massa seca do solo (105°C , 1 2 h): %

Temperatura: $^{\circ}\text{C}$

Metodologia analítica adoptada: Método ☐ indirecto Método ☐ paralelo Método ☐ sequencial

Ensaio de dessorção

	Símbolo	Unidades	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo
Número do tubo no ensaio de adsorção						
Massa de substância adsorvida no solo no estado de equilíbrio de adsorção	$m_s^{ads}(\text{eq})$	μg				
Volume de fase aquosa removido e substituído por solução de CaCl_2 0,01 M	V_R	cm^3				
Volume total de fase aquosa em contacto com o solo	PM SM	V_0 V_T	cm^3 cm^3			

		Símbolo	Unidades	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo
Massa de substância em estudo excluída do equilíbrio de adsorção devido a substituição incompleta de volumes		m_{aq}^A	μg				
Cinética de dessorção							
Massa determinada de substância des-sorvida do solo no instante t_i		$m_m^{\text{des}}(t_i)$	μg				
Volume de solução recolhida do tubo (i) para determinação da substância em estudo	PM	V_f^i	cm^3				
	SM	v_a^A	cm^3				
Massa de substância des-sorvida do solo no instante t_i (calculada)		$m_{aq}^{\text{des}}(t_i)$	μg				
Massa de substância des-sorvida do solo no intervalo Δt_i (calculada)		$m_{aq}^{\text{des}}(\Delta t_i)$	μg				
Percentagem de dessorção							
Dessorção no instante t_i		D_{t_i}	%				
Dessorção no intervalo Δt_i		$D_{\Delta t_i}$	%				
Coeficiente de dessorção aparente		K_{des}					

PM: Método paralelo

SM: Método sequencial

C.19. **ESTIMATIVA DO VALOR DO COEFICIENTE DE ADSORÇÃO (K_{oc}) EM SOLOS E EM LAMAS DE DEPURAÇÃO POR CROMATOGRAPHIA LÍQUIDA DE ALTA EFICIÊNCIA (HPLC)**

1. **MÉTODO**

O presente método baseia-se na publicação OECD TG 121 (2000) (normas de ensaio da OCDE).

1.1. **INTRODUÇÃO**

O comportamento absorvivo e/ou adsorvivo das substâncias presentes em solos ou lamas de depuração pode ser descrito por meio de parâmetros determinados experimentalmente, através do método de ensaio C 18. O coeficiente de adsorção é um parâmetro importante, definido como a razão entre a concentração da substância no solo/lamas e a concentração da substância na fase aquosa, em condições de equilíbrio de adsorção. O coeficiente de adsorção normalizado para o teor de carbono orgânico no solo (K_{oc}), é um indicador útil da capacidade de ligação de um composto químico à matéria orgânica presente no solo e nas lamas de depuração, permitindo que se estabeleçam comparações entre os diferentes compostos químicos. Este parâmetro pode ser estimado através de correlações com a solubilidade em água e com o coeficiente de partição n-octanol/água (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7).

O método experimental descrito no presente ensaio utiliza a técnica HPLC para estimar o coeficiente de adsorção K_{oc} em solos e em lamas de depuração (8). Os valores estimados são mais fiáveis que os obtidos através do método de cálculos QSAR ("quantitative structure-activity relationships", relações quantitativas estrutura/atividade) (9). Por se tratar de um método estimativo, o presente método experimental não pode substituir completamente as experiências em reactor descontínuo que são utilizadas no método de ensaios C 18. No entanto, o valor estimado para K_{oc} pode ser útil na escolha dos parâmetros de ensaio adequados para estudos de adsorção/dessorção de acordo com o método de ensaios C 18, através do cálculo de K_d (coeficiente de distribuição) ou de K_f (coeficiente de adsorção de Freundlich), segundo a equação 3 (ver ponto 1.2).

1.2. **DEFINIÇÕES**

K_d : coeficiente de distribuição. Este coeficiente é definido como a razão entre as concentrações de equilíbrio (C), de uma substância de ensaio dissolvida num sistema bifásico constituído por um componente com comportamento absorvivo e/ou adsorvivo (solo ou lamas de depuração) e uma fase aquosa. Esta grandeza é adimensional quando as concentrações em ambas as fases são expressas em peso/peso. No caso da concentração da fase aquosa ser expressa em peso/volume, as unidades utilizadas são $\text{ml} \cdot \text{g}^{-1}$. O valor de K_d pode variar com as propriedades do componente com comportamento absorvivo e/ou adsorvivo, assim como depender da sua concentração.

$$K_d = \frac{C_{\text{soil}}}{C_{\text{aq}}} \text{ or } \frac{C_{\text{sludge}}}{C_{\text{aq}}} \quad (1)$$

em que:

C_{solo} = concentração da substância de ensaio no solo, no equilíbrio ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)

C_{lamas} = concentração da substância de ensaio nas lamas, no equilíbrio, ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)

C_{aq} = concentração da substância de ensaio na fase aquosa, no equilíbrio ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, $\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$).

K_f : coeficiente de adsorção de Freundlich. Este coeficiente é definido como a concentração da substância de ensaio no solo ou nas lamas de depuração (x/m) quando a concentração de equilíbrio na fase aquosa (C_{aq}) é igual a um. Esta grandeza é expressa em $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ de componente com comportamento absorvivo e/ou adsorvivo. O valor de K_f pode ser afectado pelas propriedades desse componente.

$$\log \frac{x}{m} = \log K_f + \frac{1}{n} \cdot \log C_{\text{aq}} \quad (2)$$

em que:

x/m = quantidade da substância de ensaio x (μg) adsorvida numa quantidade m (g) de componente com comportamento absorvivo e/ou adsorvivo, no equilíbrio

$1/n$ = declive da isotérmica de adsorção de Freundlich

C_{aq} = concentração da substância de ensaio na fase aquosa, no equilíbrio ($\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$)

$$\text{At } C_{\text{aq}} = 1; \log K_f = \log \frac{x}{m}$$

K_{oc} : coeficiente de distribuição (K_d) ou coeficiente de adsorção de Freundlich (K_f) normalizados para o teor de carbono orgânico (f_{oc}), de um componente com comportamento absorvivo e/ou adsorvivo. Esta grandeza é um indicador adequado do grau de adsorção entre a substância e o componente com comportamento absorvivo e/ou adsorvivo, principalmente no caso de compostos químicos não ionizados, permitindo que sejam feitas comparações entre diferentes compostos químicos. Dependendo das unidades de K_d ou de K_f , o K_{oc} pode ser adimensional ou expresso em $\text{ml} \cdot \text{g}^{-1}$ or $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ de matéria orgânica:

$$K_{oc} = \frac{K_d}{f_{oc}} \left(\text{adimensional ou } \text{ml} \cdot \text{g}^{-1} \right) \text{ or } \frac{K_f}{f_{oc}} (\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}) \quad (3)$$

Embora a relação entre K_{oc} e K_d não seja sempre linear, pelo que os valores de K_{oc} podem variar de solo para solo, esta variabilidade é significativamente reduzida comparativamente à registada para os valores de K_d ou K_f .

O coeficiente de adsorção (K_{oc}) é deduzido a partir do factor de capacidade (k^1), utilizando uma curva de calibração de $\log k^1$ em função de $\log K_{oc}$ dos compostos de referência seleccionados.

$$k' = \frac{t_R - t_0}{t_0} \quad (4)$$

em que:

t_R = tempo de retenção em HPLC da substância de ensaio e da substância de referência (em minutos)

t_0 = tempo-limite em HPLC (minutos) (ver ponto 1.8.2).

P_{ow}: coeficiente de partição octanol-água. Este coeficiente define-se como a razão entre as concentrações da substância dissolvida em n-octanol e em água. Trata-se de uma grandeza adimensional

$$P_{ow} = \frac{C_{octanol}}{C_{aq}} (= K_{ow}) \quad (5)$$

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Antes da utilização do método, é necessário conhecer a fórmula estrutural, o grau de pureza e a constante de dissociação (caso seja adequado). Será útil dispor de informações relativas à solubilidade em água e em solventes orgânicos, ao coeficiente de partição octanol-água e às características de hidrólise.

De forma a correlacionar os valores de retenção, medidos em HPLC, de uma substância de ensaio com o seu coeficiente de adsorção, K_{oc} , deverá ser traçada uma curva de calibração de $\log K_{oc}$ em função de $\log k^1$. Deverão ser utilizados, no mínimo, seis valores de referência, dos quais pelo menos um deverá estar acima e outro abaixo do valor esperado para a substância de ensaio. O grau de exactidão do método será melhorado significativamente se forem utilizadas substâncias de referência estruturalmente relacionadas com a substância de ensaio. Caso estes dados não estejam disponíveis, cabe ao analista seleccionar as substâncias de calibração adequadas. Nesse caso, deverá ser escolhido um conjunto mais abrangente de substâncias, estruturalmente heterogêneas. Nas tabelas 1 e 3 do apêndice apresentam-se listas das substâncias e valores de K_{oc} que podem ser utilizados para as lamas de depuração e para os solos, respectivamente. A selecção de outras substâncias de calibração deverá ser devidamente justificada.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

O HPLC é realizado em colunas analíticas com enchimento de cianopropilo comercial em fase sólida contendo grupos lipofílicos e grupos polares. E utilizada uma fase estacionária com polaridade moderada baseada numa matriz de sílica.

– O – Sí	–CH ₂ –CH ₂ –CH ₂	–CN
sílica	espacedor apolar	grupo polar

O princípio do método de ensaio é semelhante ao utilizado no método de ensaio A.8 (coeficiente de partição, método de HPLC). A substância de ensaio interage com a fase estacionária ao passar pela coluna juntamente com a fase móvel, sendo retardada em resultado da partição entre as fases móvel e estacionária. A composição mista da fase estacionária, que contém grupos polares e grupos apoiares, permite que a interacção dos grupos polares e apoiares de determinada molécula ocorra de forma semelhante à que se verifica com a matéria orgânica em matrizes de solo ou de lamas de depuração, possibilitando o estabelecimento de uma relação entre o tempo de retenção na coluna e o coeficiente de adsorção à matéria orgânica.

O pH tem uma influência significativa no comportamento absorptivo e/ou adsorptivo, sobretudo no caso de substâncias polares. Em solos agrícolas ou em tanques de estações de tratamento de águas residuais, o pH varia normalmente entre 5,5 e 7,5. Relativamente a substâncias ionizáveis, deverão ser efectuados dois ensaios, um com a forma ionizada e outro com a forma não ionizada em soluções tampão adequadas, apenas nos casos em que pelo menos 10 % do composto de ensaio se encontre dissociado a pH entre 5,5 e 7,5.

Uma vez que, para avaliar os resultados, utiliza-se apenas a relação entre a retenção na coluna de HPLC e o coeficiente de adsorção, não é necessário utilizar qualquer método quantitativo, determinar o tempo de retenção. Caso se disponha de um conjunto adequado de substâncias de referência e estejam estabelecidas condições experimentais-padrão, o presente método constitui um modo rápido e eficaz para estimar o valor do coeficiente de adsorção K_{oc} .

1.5. APLICABILIDADE DO ENSAIO

O método de HPLC é aplicável a substâncias químicas (marcadas ou não) para as quais exista um sistema de detecção adequado (por exemplo, espectrofotómetro, detector de radioactividade) e que sejam suficientemente estáveis durante o período de ensaio. O método pode ser particularmente útil no caso de produtos químicos que sejam difíceis de estudar com outros sistemas experimentais (ou seja, substâncias voláteis, substâncias que não são solúveis em água em concentrações que possam ser determinadas analiticamente, substâncias que apresentem uma elevada afinidade para a superfície dos sistemas de incubação). O método pode ser utilizado para misturas que apresentam bandas de eluição não resolvidas. Nesse caso, devem ser referidos os limites superior e inferior dos valores de $\log K_{oc}$ dos compostos presentes na mistura de ensaio.

As impurezas podem por vezes representar um problema para a interpretação dos resultados de HPLC. No entanto, a sua influência pode ser minimizada se a substância de ensaio puder ser inequivocamente identificada pelo método analítico e separada das impurezas.

O presente método encontra-se validado para as substâncias descritas na tabela 1 do apêndice, tendo sido igualmente aplicado a uma série de outros compostos químicos pertencentes às seguintes famílias de compostos:

- aminas aromáticas (por exemplo, trifluralina, 4-cloroanilina, 3,5-dinitroanilina, 4-metilnilina, N-metilnilina, 1-naftilamina),
- ésteres de ácidos carboxílicos aromáticos (por exemplo, éster metílico do ácido benzóico, éster etílico do ácido 3,5-dinitrobenzóico),
- hidrocarbonetos aromáticos (por exemplo, tolueno, xileno, etilbenzeno, nitrobenzeno),
- ésteres do ácido ariloxifenoxipropiónico (por exemplo, diclofop-metilo, fenoxaprop-etilo, fenoxaprop-P-etilo),
- fungicidas benzimidazólicos e imidazólicos (por exemplo, carbendazim, fuberidazol, triazóxido),
- amidas de ácidos carboxílicos (por exemplo, 2-clorobenzamida, N,N-dimetilbenzamida, 3,5-dinitrobenzamida, N-metilbenzamida, 2-nitrobenzamida, 3-nitrobenzamida),
- hidrocarbonetos clorados (por exemplo, endosulfan, DDT, hexaclorobenzeno, quintozeno, 1,2,3-triclorobenzeno),
- insecticidas organo-fosforados (por exemplo, azinfos-metilo, dissulfotão, fenamifos, isofenfos, pirazofos, sulprofos, triazofos),
- fenóis (por exemplo, fenol, 2-nitrofenol, 4-nitrofenol, pentaclorofenol, 2,4,6-triclorofenol, 1-naftol),
- derivados da fenilureia (por exemplo, isoproturão, monolinurão, pencicurrão),
- corantes (por exemplo, Amarelo Acido 219, Azul Básico 41, Vermelho Directo 81),
- hidrocarbonetos poliaromáticos (por exemplo, acenafteno, naftaleno),
- herbicidas do tipo 1,3,5-triazina (por exemplo, prometrino, propazina, simazina, terbutrina),
- derivados de triazole (por exemplo, tebuconazole, triadimefona, tradimenol, triapentenol).

O presente método não é aplicável a substâncias que reajam com o eluente ou com a fase estacionária nem a substâncias que interajam de forma específica com componentes inorgânicos (por exemplo, formação de agregados de complexos com minerais argilosos). O presente método pode não ser adequado para a análise de surfactantes, compostos inorgânicos ou ácidos e bases moderadamente fortes ou fortes. O presente método

permite determinar valores de $\log K_{oc}$ entre 1,5 e 5,0. Na medição de substâncias ionizáveis deve utilizar-se uma fase móvel tamponada, sendo necessário tomar precauções de modo a evitar a precipitação dos componentes do tampão ou da substância de ensaio.

1.6. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

1.6.1. Exactidão

De um modo geral, o coeficiente de adsorção de uma substância de ensaio pode ser estimado com uma margem de erro de $\pm 0,5$ unidades de logaritmo, relativamente ao valor determinado em reactor descontinuo (ver tabela 1 do apêndice). Poderá obter-se um grau de exactidão superior se se utilizarem substâncias de referência estruturalmente relacionadas com a substância de ensaio.

1.6.2. Repetitividade

Cada determinação deve ser feita pelo menos em duplicado. Os valores de $\log K_{oc}$ obtidos em cada medição devem encontrar-se numa gama de 0,25 unidades de logaritmo.

1.6.3. Reprodutibilidade

A experiência obtida até ao momento com a aplicação do presente método suporta a sua validade. Numa análise do método de HPLC, realizada com 48 substâncias (pesticidas, na sua maior parte) relativamente às quais existiam valores fiáveis de K_{oc} em solos, o coeficiente de correlação obtido foi de $R = 0,95$ (10) (11).

De modo a melhorar e validar o presente método, foi efectuado um ensaio comparativo interlaboratorial no qual participaram 11 laboratórios (12). Os resultados desse ensaio são apresentados na tabela 2 do apêndice.

1.7. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.7.1. Estimativa preliminar do coeficiente de adsorção

O coeficiente de partição octanol-água P_{ow} ($= K_{ow}$), assim como, em certa medida, a solubilidade em água, podem ser utilizados como indicadores da extensão da adsorção, em particular para substâncias não ionizáveis, podendo assim ser utilizados numa primeira aproximação com vista a determinar a gama de variação do valor do coeficiente de adsorção. Relativamente a vários grupos de compostos químicos. Têm sido publicadas uma série de correlações úteis relativamente a vários grupos de compostos químicos (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7).

1.7.2. Equipamento

É necessário um cromatógrafo de fase líquida equipado com uma bomba de pulsação livre e um equipamento de detecção adequado. Recomenda-se a utilização de uma válvula de injeção com ciclos de injeção. Deverão ser utilizadas resinas comerciais de cianopropilo quimicamente ligado a uma base de sílica (por exemplo, Hypersil e Zorbax CN). Poderá interpor-se uma coluna de protecção do mesmo material entre o sistema de injeção e a coluna analítica. A eficiência de separação das colunas poderá variar substancialmente em função do fabricante. Como referência, relativamente aos factores de capacidade k' deverão ser atingidas os seguintes valores: $\log k' > 0,0$ para $\log K_{oc} = 3,0$ e $\log k' > 0,4$ para $\log K_{oc} = 2,0$, quando se utiliza uma fase móvel de metanol/água nas proporções de 55/45 %.

1.7.3. Fases móveis

Foram ensaiadas diversas fases móveis, sendo recomendadas as duas seguintes:

- metanol/água (55/45 % v/v),
- metanol/0,01 M tampão citrato pH 6,0 (55/45 % v/v).

Na preparação do solvente de eluição, deve utilizar-se metanol com grau de pureza para HPLC e água destilada ou tampão citrato. Os gases da mistura devem ser eliminados antes da sua utilização. Deve utilizar-se uma eluição isocrática. Se o uso de misturas metanol/água não for apropriado, pode tentar utilizar-se outras misturas água/solventes orgânicos como, por exemplo, etanol/água ou acetoneitrilo/água. Para compostos ionizáveis, é recomendada a utilização da solução tampão, de modo a estabilizar o pH. Deverão tomar-se precauções para evitar a precipitação de sais e a deterioração da coluna, que podem ocorrer com algumas misturas de fase orgânica/tampão.

Não devem ser utilizados aditivos, como reagentes de pares iónicos, uma vez que estes podem afectar as propriedades adsorptivas e/ou adsorptivas da fase estacionária, de uma forma que poderá ser irreversível. É por esta razão obrigatório que os ensaios com aditivos sejam realizados em colunas separadas do mesmo tipo.

1.7.4. Solutos

Tanto as substâncias de ensaio como as de referência devem ser dissolvidas na fase móvel.

1.8. PROCEDIMENTO DO ENSAIO

1.8.1. Condições de ensaio

Deve ser registada a temperatura à qual se efectuam as medidas. É fortemente recomendada a utilização de um compartimento de colunas com controlo de temperatura, de modo a garantir condições de temperatura constante durante a calibração, de avaliação prévia e das medições da substância de ensaio.

1.8.2. Determinação do tempo limite t_0

Podem ser utilizados dois métodos diferentes na determinação do tempo limite t_0 (ver também ponto 1.2).

1.8.2.1. Determinação do tempo limite t_0 através de uma série homóloga

Este procedimento provou dar origem a valores de t_0 fiáveis e padronizados. Pormenores sobre este método podem ser encontrados no método de ensaio A.8: coeficiente de partição (n-octanol/água), método de HPLC.

1.8.2.2. Determinação do tempo limite t_0 através de substâncias inerte que não são retidas pela coluna

Esta técnica baseia-se na injeção de soluções de formamida, ureia ou nitrato de sódio. As medições devem ser feitas, peio menos, em duplicado.

1.8.3. Determinação dos tempos de retenção t_R

As substâncias de referência devem ser seleccionadas de acordo com o procedimento descrito no ponto 1.3. Para determinar os respectivos tempos de retenção, podem ser injectadas misturadas desde que se tenha confirmado que o tempo de retenção de cada um dos padrões não é afectado pela presença dos outros padrões. A calibração deve ser efectuada a intervalos regulares, pelo menos duas vezes por dia, de modo a poder detectar quaisquer alterações inesperadas no comportamento da coluna. Para uma boa prática laboratorial, as injeções de calibração devem ser efectuadas antes e depois da injeção da substância de ensaio, de modo a confirmar se não houve alterações nos tempos de retenção. As substâncias de ensaio são injectadas separadamente, em quantidades o mais reduzidas possível (de modo a evitar a sobrecarga da coluna), e determinados os seus tempos de retenção.

Para aumentar o grau de confiança das medições, as determinações devem ser feitas pelo menos em duplicado. Os valores de $\log K_{oc}$ obtidos em cada medição devem manter-se numa gama de 0,25 unidades de logaritmo.

1.8.4. Avaliação

Os factores de capacidade k' são calculados a partir do tempo limite t_0 e dos tempos de retenção t_R das substâncias de referência seleccionadas, de acordo com a equação 4 (ver ponto 1.2). Os valores de $\log k'$ das substâncias de referência são em seguida representados graficamente em função dos respectivos valores de $\log K_{oc}$, obtidos nos ensaios em reactor descontinuo fornecidos nas tabelas 1 e 3 do apêndice. Através deste gráfico, o valor de $\log k'$ de uma substância de ensaio é então utilizado para determinar o seu valor de $\log K_{oc}$. Se os resultados obtidos revelarem que o valor de $\log K_{oc}$ da substância de ensaio se encontra fora da curva de calibração, o ensaio deve ser repetido com outras substâncias de referência, mais adequadas.

2. DADOS E RELATÓRIO

O relatório deve incluir a seguinte informação:

- a identidade das substâncias de ensaio e de referência, e o seu grau de pureza e, se relevante, os respectivos valores de pK_a ,
- a descrição do equipamento e das condições de funcionamento, por exemplo, o tipo e a dimensão da coluna analítica (e da coluna de protecção), os meios de detecção, a fase móvel (composição relativa e pH), a gama de temperaturas observadas durante o decorrer das medições,

- o tempo limite e o método utilizado para a sua determinação,
- as quantidades das substâncias de ensaio e de referência introduzidas na coluna,
- os tempos de retenção dos compostos de referência utilizados para a calibração,
- as características da regressão linear dos pontos experimentais ($\log k'$ em função de $\log K_{oc}$) e um gráfico da recta obtida por regressão linear,
- os dados sobre o tempo médio de retenção e o valor estimado para $\log K_{oc}$ do composto de ensaio,
- cromatogramas.

3. REFERÊNCIAS

- (1) W. J. Lyman, W. F. Reehl, D. H. Rosenblatt (ed). (1990). Handbook of chemical property estimation methods, Chap. 4, McGraw-Hill, New York.
- (2) J. Hodson, N. A. Williams (1988). The estimation of the adsorption coefficient (K_{oc}) for soils by HPLC. Chemosphere, 17, 1-67.
- (3) G. G. Briggs (1981). Theoretical and experimental relationships between soil adsorption, octanol-water partition coefficients, water solubilities, bioconcentration factors, and the parachor. J. Agric. Food Chem., 29, p. 1050-1059.
- (4) C. T. Chiou, P. E. Porter, D.W. Schmedding (1983). Partition equilibria of nonionic organic compounds between soil organic matter and water. Environ. Sci. Technol., 17, p. 227-231.
- (5) Z. Gerstl, U. Mingelgrin (1984). Sorption of organic substances by soils and sediment. J. Environm. Sci. Health, B19, p. 297-312.
- (6) C. T. Chiou, L. J. Peters, V. H. Freed (1979). A physical concept of soil water equilibria for nonionic organic compounds, Science, 106, p. 831-832.
- (7) S. W. Karickhoff (1981). Semi-empirical estimation of sorption of hydrophobic pollutants on natural sediments and soils. Chemosphere, 10, p. 833-846.
- (8) W. Kördel, D. Hennecke, M. Herrmann (1997). Application of the HPLC-screening method for the determination of the adsorption coefficient on sewage sludges. Chemosphere, 35(1/2), p. 121-128.
- (9) M. Mueller, W. Kördel (1996). Comparison of screening methods for the estimation of adsorption coefficients on soil. Chemosphere, 32(12), p. 2493-2504.
- (10) W. Kördel, J. Stutte, G. Kotthoff (1993). HPLC-screening method for the determination of the adsorption coefficient in soil-comparison of different stationary phases, Chemosphere, 27(12), p. 2341-2352.
- (11) B. von Oepen, W. Kördel, W. Klein (1991). Sorption of nonpolar and polar compounds to soils: Processes, measurements and experience with the applicability of the modified OECD Guideline 106, Chemosphere, 22, p. 28 5-304.
- (12) W. Kördel, G. Kotthoff, J. Müller (199 5). HPLC-screening method for the determination of the adsorption coefficient on soil-results of a ring test. Chemosphere, 30(7), p. 1373-1384.

Apêndice

Tabela 1

Comparação entre os valores de K_{oc} para solos e lamas de depuração e os valores calculados pelo método de HPLC ⁽¹⁾, ⁽²⁾

Substância	Número CAS	Log K_{oc} lamas de depuração	Log K_{oc} HPLC	A	Log K_{oc} solos	Log K_{oc} HPLC	A
Atrazina	1912-24-9	1,66	2,14	0,48	1,81	2,20	0,39
Linurão	330-55-2	2,43	2,96	0,53	2,59	2,89	0,30
Fentião	55-38-9	3,75	3,58	0,17	3,31	3,40	0,09
Monurão	150-68-5	1,46	2,21	0,75	1,99	2,26	0,27
Fenantreno	85-01-8	4,35	3,72	0,63	4,09	3,52	0,57
Éster fenílico do ácido benzóico	93-99-2	3,26	3,03	0,23	2,87	2,94	0,07
Benzamida	55-21-0	1,60	1,00	0,60	1,26	1,25	0,01
4-Nitrobenzamida	619-80-7	1,52	1,49	0,03	1,93	1,66	0,27
Acetanilida	103-84-4	1,52	1,53	0,01	1,26	1,69	0,08
Anilina	62-53-3	1,74	1,47	0,27	2,07	1,64	0,43
2,5-Dicloroanilina	95-82-9	2,45	2,59	0,14	2,55	2,58	0,03

⁽¹⁾ W. Kördel, D. Hennecke, M. Herrmann (1997). Application of the HPLC-screening method for the determination of the adsorption coefficient on sewage sludges. Chemosphere, 35(1/2), p. 121-128.

⁽²⁾ W. Kördel, D. Hennecke, C. Franke (1997). Determination of the adsorption-coefficients of organic substances on sewage sludges. Chemosphere, 35(1/2), p. 107-119.

Tabela 2

Resultados de um ensaio comparativo interlaboratorial (11 laboratórios participantes), efectuado com o objectivo de melhorar e validar o método de HPLC ⁽¹⁾

Substância	Número CAS	Log K_{oc}	K_{oc}	Log K_{oc}
		(OECD 106)	(método de HPLC)	
Atrazina	1912-24-9	1,81	78 ± 16	1,89
Monurão	150-68-5	1,99	100 ± 8	2,00
Triapentenol	77608-88-3	2,37	292 ± 58	2,47
Linurão	330-55-2	2,59	465 ± 62	2,67
Fentião	55-38-9	3,31	2062 ± 648	3,31

⁽¹⁾ W. Kördel, G. Kotthoff, J. Müller (1995). HPLC-screening method for the determination of the adsorption coefficient on soil-results of a ring test. Chemosphere, 30(7), p. 1373-1384.

Tabela 3

Substâncias de referência recomendadas para o método de HPLC baseado em dados de adsorção em solos

Substância de referência	Número CAS	Valores médios de log K _{OC} em reactor descontínuo	Número de valores de K _{OC}	Log desvio-padrão	Fonte
Acetanilida	103-84-4	1,25	4	0,48	(a)
Fenol	108-95-2	1,32	4	0,70	(a)
2-Nitrobenzamida	610-15-1	1,45	3	0,90	(b)
N,N-dimetilbenzamida	611-74-5	1,52	2	0,45	(a)
4-Metilbenzamida	619-55-6	1,78	3	1,76	(a)
Benzoato de metilo	93-58-3	1,80	4	1,08	(a)
Atrazina	1912-24-9	1,81	3	1,08	(c)
Isoproturão	34123-59-6	1,86	5	1,53	(c)
3-Nitrobenzamida	645-09-0	1,95	3	1,31	(b)
Anilina	62-53-3	2,07	4	1,73	(a)
3,5-Dinitrobenzamida	121-81-3	2,31	3	1,27	(b)
Carbendazim	10605-21-7	2,35	3	1,37	(c)
Triadimenol	55219-65-3	2,40	3	1,85	(c)
Triazóxido	72459-58-6	2,44	3	1,66	(c)
Triazofos	24017-47-8	2,55	3	1,78	(c)
Linurão	330-5 5-2	2,59	3	1,97	(c)
Naftaleno	91-20-3	2,75	4	2,20	(a)
Endosulfan-diol	2157-19-9	3,02	5	2,29	(c)
Metiocarbe	2032-65-7	3,10	4	2,39	(c)
Amarelo Ácido 21 9	63405-85-6	3,16	4	2,83	(a)
1,2,3-Triclorobenzeno	87-61-6	3,16	4	1,40	(a)
Y-HCH	58-89-9	3,23	5	2,94	(a)
Fentião	55-38-9	3,31	3	2,49	(c)
Vermelho Directo 81	2610-11-9	3,43	4	2,68	(a)
Pirazofos	1 3457-18-6	3,65	3	2,70	(c)
a-Endosulfan	959-98-8	4,09	5	3,74	(c)
Diclofop-metilo	51338-27-3	4,20	3	3,77	(c)
Fenantreno	85-01-8	4,09	4	3,83	(a)
Azul Básico 41 (mistura)	268 50-47-5 12270-13-2	4,89	4	4,46	(a)
DDT	50-29-3	5,63	1	—	(b)

(a) W. Kördel, J. Müller (1994). Bestimmung des Adsorptionskoeffizienten organischer Chemikalien mit der HPLC. UBA R & D Report No 106 01044 (1994).

(b) B.V. Oepen, W. Kördel, W. Klein (1991). Chemosphere, 22, p. 285-304.

(c) Dados fornecidos por entidades industriais.

C.20. ENSAIO SOBRE A REPRODUÇÃO DE *DAPHNIA MAGNA*

1. MÉTODO

Este método de ensaio de toxicidade na reprodução baseia-se na publicação OECD TG 211 (1998) (normas de ensaio da OCDE).

1.1. INTRODUÇÃO

O principal objectivo do ensaio consiste em determinar o efeito de produtos químicos sobre a produção de descendência de *Daphnia magna*.

1.2. DEFINIÇÕES E UNIDADES

Animais progenitores: as fêmeas *Daphnia* presentes no início do ensaio e cuja reprodução é o objecto do estudo.

Descendência: os juvenis *Daphnia* produzidos pelos animais progenitores no decorrer do ensaio.

Menor concentração com efeito observável (LOEC): a menor concentração testada em que a substância ensaiada produz um efeito observável estatisticamente significativo sobre a reprodução e mortalidade dos progenitores (a $p < 0,05$), comparativamente ao controlo, durante um período de exposição definido. No entanto, todas as concentrações de ensaio superiores à LOEC devem ter um efeito nocivo igual ou superior ao verificado para a LOEC. Quando estas duas condições não puderem ser satisfeitas, deverá ser fornecida uma explicação pormenorizada sobre a forma como se determinou a LOEC (e, consequentemente, a NOEC).

Concentração sem efeito observável (NOEC): a mais elevada concentração ensaiada que, quando comparada com o controlo, não tem qualquer efeito estatisticamente significativo ($p < 0,05$), durante um período de exposição definido (corresponde à concentração ensaiada imediatamente abaixo da LOEC).

CE_x: a concentração da substância de ensaio dissolvida em água que provoca uma redução de x % na reprodução da *Daphnia magna*, durante um período de exposição definido.

Taxa intrínseca de crescimento: uma medida do crescimento da população que integra a produção de descendência e a mortalidade específica da idade (20) (21) (22). O seu valor será igual a zero nas populações estáveis, positivo para as populações em crescimento e negativo para populações em declínio. Manifestamente, a última situação não é sustentável e, em última análise, conduzirá à extinção.

Limite de detecção: a menor concentração que pode ser detectada, mas não quantificada.

Limite de determinação: a menor concentração que pode ser medida de forma quantitativa.

Mortalidade: um animal é considerado morto quando permanece imóvel, isto é, quando não é capaz de nadar ou quando não se observa movimento dos apêndices ou do pós-abdómen no intervalo de 15 segundos após agitação suave do recipiente de ensaio (se for utilizada outra definição, esta deve ser mencionada juntamente com a sua referência).

1.3. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

As fêmeas jovens *Daphnia* (os animais progenitores), com menos de 24 horas de vida no início do ensaio, são expostas à substância de ensaio misturada na água em diversas concentrações. A duração do ensaio é de 21 dias. No fim do ensaio, é determinado o número total de descendentes vivos produzidos por cada animal progenitor que esteja vivo. Isto significa que são excluídos dos cálculos os juvenis produzidos por adultos que morreram durante o ensaio. A produção de descendência pelos animais progenitores pode expressar-se de outras formas (por exemplo, pelo número de descendentes vivos produzidos por animal e por dia, desde o primeiro dia em que se observou descendência), mas estas devem ser descritas juntamente com o número total de juvenis produzidos por progenitor vivo no fim do ensaio. A produção de descendência pelos animais expostos à substância de ensaio é comparada com a obtida no(s) controlo(s), a fim de determinar a menor concentração com efeito observável (LOEC) e, consequentemente, a concentração sem efeito observável (NOEC). Adicionalmente, e na medida do possível, os dados são analisados utilizando um modelo de regressão de modo a estimar a concentração que causaria uma redução de x % na produção de descendência (isto é CE₅₀, CE₂₀ ou CE₁₀).

É necessário registar também a sobrevivência dos animais progenitores e o tempo que decorreu até ao aparecimento dos primeiros juvenis. Podem ainda ser examinados outros efeitos relacionados com a substância, em parâmetros como o crescimento (o comprimento, por exemplo) e, possivelmente, a taxa intrínseca de crescimento.

1.4. INFORMAÇÃO SOBRE A SUBSTÂNCIA DE ENSAIO

Deverão estar disponíveis os resultados de um ensaio de toxicidade aguda (ver método C.2, parte I) realizado com a *Daphnia magna*. Estes resultados podem ser úteis para seleccionar um intervalo apropriado de concentrações a usar nos ensaios de reprodução. A solubilidade em água e a pressão de vapor da substância de ensaio deverão ser conhecidas, e deverá estar disponível um método analítico fiável para a quantificação da substância nas soluções de ensaio, relativamente ao qual esteja descrita a eficiência de recuperação e o limite de determinação.

A fórmula estrutural, o grau de pureza da substância, a estabilidade à luz, a estabilidade nas condições do ensaio, o pKa, o P_{ow} e os resultados do ensaio para a biodegradabilidade "fácil" constituem informações relativas à substância que podem ser úteis para o estabelecimento das condições do ensaio (ver método C.4).

1.5. VALIDADE DO ENSAIO

Para que um ensaio seja válido, deverão ser satisfeitos os seguintes critérios relativamente ao(s) controlo(s):

- a mortalidade dos animais progenitores (fêmea *Daphnia*) no fim do ensaio não deve exceder 20 %;
- o número médio da descendência viva, produzida por animal progenitor sobrevivente no fim do ensaio deve ser ≥ 60 .

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.6.1. Equipamento

Os recipientes de ensaio e outros aparelhos que entrem em contacto com as soluções de ensaio devem ser, exclusivamente, de vidro ou outro material quimicamente inerte. Os recipientes de ensaio utilizados serão, normalmente, copos de vidro.

Adicionalmente, será necessário utilizar parte ou a totalidade do seguinte equipamento:

- medidor de oxigénio (com microeléctrodo ou outro equipamento adequado para a medição de oxigénio dissolvido em amostras com volume reduzido),
- aparelhos adequados para o controlo da temperatura,
- medidor de pH,
- equipamento para a determinação da dureza da água,
- equipamento para a determinação da concentração de carbono orgânico total (COT) da água ou equipamento para a determinação da carência química de oxigénio (CQO),
- aparelho adequado para o controlo do regime de luz e a medição da intensidade da luz.

1.6.2. Organismos de ensaio

A espécie a ser utilizada no ensaio é a *Daphnia magna* Straus. Podem ser utilizadas outras espécies de *Daphnia*, desde que obedeçam aos critérios de validade (o critério de validade relativo à produção de descendência nos controlos deve ser aplicável à espécie de *Daphnia*). Se forem utilizadas outras espécies de *Daphnia*, estas devem ser claramente identificadas e o seu uso justificado.

É desejável que os clones tenham sido identificados, por genotipagem. A investigação já efectuada nesse domínio (1) demonstrou que a reprodução do clone A (proveniente do 1RCHA, em França) (3) obedece de forma satisfatória ao critério de validade de uma média ≥ 60 descendentes por animal progenitor sobrevivente, quando cultivado nas condições descritas no presente método. No entanto, são aceitáveis outros clones, desde que se demonstre que a cultura de *Daphnia* satisfaz os critérios de validade para o ensaio.

No início do ensaio, os animais devem ter menos de 24 horas de vida e não devem fazer parte da primeira ninhada do progenitor. Devem provir de um lote saudável [isto é, não evidenciar sinais de distúrbio, tais como elevada mortalidade, presença de machos e ovos de repouso (*ephippia*), atraso na produção da primeira ninhada, animais descorados, etc.]. O lote de animais deve ser mantido em condições de cultura (luz, temperatura, meio, alimentação e número de animais por unidade de volume) semelhantes às que irão ser utilizadas no ensaio. Se o meio de cultura da *Daphnia* a ser utilizado no ensaio for diferente do utilizado para a cultura de rotina da *Daphnia*, é boa prática incluir um período de aclimação de cerca de três semanas antes do ensaio (isto é, uma geração) para evitar perturbações nos animais progenitores.

1.6.3. Meio de ensaio

E recomendada a utilização, neste ensaio, de um meio totalmente definido. Isto permite evitar o uso de aditivos (por exemplo, algas marinhas, extracto de solo, etc.), que são difíceis de caracterizar, e assim melhorar o processo de padronização entre laboratórios. Foram considerados adequados para este fim os meios Elendt M4 (4) e M7 (ver apêndice 1). São aceitáveis, no entanto, outros meios [ver, por exemplo, (5) e (6)] desde que as características da cultura de *Daphnia* satisfaçam os critérios de validade para o ensaio.

Se for utilizado um meio que inclui aditivos não definidos, estes deverão ser claramente especificados e o relatório do ensaio deverá incluir informações sobre a composição, nomeadamente no que diz respeito ao teor de carbono, já que este poderá contribuir para o alimento fornecido. Recomenda-se que o carbono orgânico total (COT) e/ou a carência química de oxigénio (CQO) da solução de reserva do aditivo orgânico sejam determinados, e feita uma estimativa da contribuição resultante para os valores COT/CQO no meio de ensaio. Recomenda-se que os níveis de COT no meio (isto é, antes da adição das algas) sejam inferiores a 2 mg/l (7).

Quando as substâncias de ensaio contêm metais, é importante reconhecer que as propriedades do meio de ensaio (por exemplo, a dureza, capacidade quelante) podem ter influência na toxicidade da substância de ensaio. Por esta razão, é desejável utilizar um meio cuja composição seja totalmente conhecida. No entanto, actualmente, os únicos meios totalmente definidos que se sabe serem adequados para a cultura a longo prazo da *Daphnia magna* são os meios Elendt M4 e M7. Ambos os meios contêm o agente quelante EDTA. Alguns estudos (2) demonstram que a toxicidade aparente do cádmio é geralmente menor quando o ensaio da reprodução é realizado em meios M4 e M7 do que quando é realizado num meio que não contém EDTA. Em consequência, os meios M4 e M7 não são recomendados para o ensaio de substâncias contendo metais, devendo igualmente ser evitados outros meios contendo agentes quelantes. Para substâncias que contenham metais, poderá ser aconselhável utilizar um meio alternativo, como, por exemplo, água dura ASTM reconstituída (7), que não contém EDTA, com adição de extracto de algas marinhas (8). Esta combinação de água dura ASTM reconstituída e extracto de algas marinhas é também adequada para culturas de longo prazo e ensaios de *Daphnia magna* (2), embora ainda exerça uma fraca acção quelante devido ao componente orgânico existente no extracto de algas marinhas adicionado.

A concentração de oxigénio dissolvido no início e ao longo do ensaio deve ser superior a 3 mg/l. O valor de pH deve estar situado entre 6 e 9 e não deve variar em nenhum ensaio mais do que 1,5 unidades. Recomenda-se uma dureza superior a 140 mg/l (como CaCO_3). Ensaios a este nível e superiores demonstraram que, nessas condições, a produção de descendência cumpre os critérios de validade (9) (10).

1.6.4. Soluções de ensaio

De um modo geral, as soluções de ensaio com as concentrações escolhidas são preparadas por diluição de uma solução de reserva. As soluções de reserva devem ser preparadas, de preferência, por dissolução da substância no meio de ensaio.

Em alguns casos, pode ser necessário recorrer a solventes orgânicos ou dispersantes de modo a produzir uma solução de reserva com uma concentração adequada, mas deverão ser feitos todos os esforços de modo a evitar a utilização de tais substâncias. A acetona, o etanol, o metanol, a dimetilformamida e o trietilenoglicol constituem exemplos de solventes adequados. Como exemplos de dispersantes adequados, podem citar-se o Cremophor RH40, a metilcelulose 0,01 % e o HCO-40. Em qualquer um dos casos, a substância de ensaio presente nas soluções nunca deve exceder o limite de solubilidade no meio de ensaio.

Utilizam-se solventes com o fim de preparar uma solução de reserva que permita o doseamento exacto da substância no meio de cultura. Na concentração recomendada para meio de ensaio final (isto é $\leq 0,1$ ml/l), os solventes acima indicados não são tóxicos, nem aumentam a solubilidade da substância em água.

Os dispersantes podem ser úteis para o doseamento e dispersão correctos da substância. Na concentração recomendada para o meio de ensaio final ($< 0,1$ ml/l), os dispersantes acima indicados não são tóxicos, nem aumentam a solubilidade da substância em água.

1.7. PLANEAMENTO DO ENSAIO

Os tratamentos devem ser distribuídos pelos recipientes de ensaio e todos os processos de manuseamento subsequentes devem ser efectuados de modo aleatório. O não cumprimento destas recomendações pode provocar desvios nos resultados que poderão ser erradamente interpretados como um efeito da concentração. Em particular, se as unidades experimentais forem manuseadas por ordem de tratamento ou concentração, alguns efeitos relacionados com o tempo, como a fadiga do operador ou outro tipo de erro, poderão ter efeitos e repercussões de maior dimensão nas concentrações mais elevadas. Além disso, se houver indicações de que os resultados do ensaio podem ser afectados por uma condição inicial ou ambiental do ensaio, como a localização no laboratório, deve considerar-se a possibilidade de efectuar o ensaio por agrupamento de recipientes.

1.8. PROCEDIMENTO

1.8.1. Condições de exposição

1.8.1.1. Duração

A duração do ensaio é de 21 dias.

1.8.1.2. Carga

Os animais progenitores são mantidos individualmente, um em cada recipiente de ensaio, contendo cada recipiente 50-100 ml de meio.

Por vezes, podem ser necessários volumes maiores de modo a possibilitar o cumprimento dos requisitos do procedimento analítico utilizado para a determinação da concentração da substância de ensaio, embora seja também permitida a junção de repetições para análise química. Se forem utilizados volumes superiores a 100 ml, poderá ser necessário aumentar a ração fornecida às *Daphnia* de modo a assegurar uma disponibilidade adequada de alimento e o cumprimento dos critérios de validade. Em ensaios por escoamento, podem ser considerados, por razões técnicas, planos alternativos (por exemplo, quatro grupos de 10 animais num volume de ensaio maior), devendo, no entanto, qualquer alteração do plano do ensaio ser indicada no relatório.

1.8.1.3. Número de animais

Para ensaios semi-estáticos, deverão ser mantidos individualmente, pelo menos, 10 animais em cada concentração de ensaio e 10 animais nas séries de controlo.

Para ensaios por escoamento, concluiu-se ser adequado dividir 40 animais por quatro grupos de 10 animais para cada concentração de ensaio (1). Pode ser utilizado um número menor de organismos de ensaio, sendo recomendado um mínimo de 20 animais para cada concentração, repartidos por duas ou mais repetições com igual número de animais (por exemplo, quatro repetições com cinco animais cada). Convém salientar que nos ensaios em que os animais são mantidos em grupos, não será possível expressar a produção de descendência em termos de número total de descendentes vivos produzidos por animal progenitor vivo no fim do ensaio se os animais progenitores morrerem. Nestes casos, a produção de descendência deve ser expressa em termos de «número total de descendentes vivos produzidos por progenitor presente no início do ensaio».

1.8.1.4. Alimentação

Para ensaios semi-estáticos, a alimentação deve ser fornecida de preferência diariamente, no mínimo, três vezes por semana (isto é, correspondendo às mudanças de meio). Qualquer desvio em relação a essa norma (por exemplo, para ensaios por escoamento) deverá ser indicado no relatório.

Durante o ensaio, a dieta dos animais progenitores deverá consistir, de preferência, em células de algas vivas de uma ou mais das seguintes espécies: *Chlorella* sp, *Selenastrum capricornutum* [agora *Pseudokirchneriella subcapitata* (11)] e *Scenedesmus subspicatus*. A dieta fornecida deve basear-se na quantidade do carbono orgânico (C) fornecida a cada animal progenitor. Os dados da investigação já realizada nesta área (12) demonstraram que, para a *Daphnia magna*, níveis de ração entre 0,1 e 0,2 mg C/*Daphnia*/dia são suficientes para atingir o número de descendentes necessário para satisfazer o critério de validade do ensaio. A ração pode ser fornecida a uma taxa constante ao longo de todo o período do ensaio ou, se for desejável, pode ser utilizada uma taxa inferior no início, que será depois aumentada durante o ensaio de modo a compensar o crescimento dos animais progenitores. Neste caso, a ração deverá continuar a manter-se dentro da gama recomendada de 0,1-0,2 mg C/*Daphnia*/dia.

Se forem utilizados medições alternativas, tais como o número de células de algas ou a absorvância, para determinar o nível de ração necessário (por razões de conveniência, uma vez que as medições do teor de carbono são muito mais demoradas), cada laboratório deve produzir o seu próprio nomograma em que relacione a medida alternativa com o conteúdo em carbono da cultura de algas (ver apêndice 2 para conselhos sobre a elaboração do nomograma). Os nomogramas devem ser verificados pelo menos anualmente, e com maior frequência se tiverem sido alteradas as condições de cultura das algas. Verificou-se que a absorvância é uma medida alternativa mais adequada para a determinação do teor de carbono do que o número de células (13).

De modo a reduzir o volume do meio de cultura de algas transferido para os recipientes de ensaio, a suspensão de algas fornecida às *Daphnia* deve ser concentrada. A concentração das algas pode ser efectuada por centrifugação seguida de re-suspensão em água destilada, água desionizada ou meio de cultura de *Daphnia*.

1.8.1.5. *Luz*

Período de exposição à luz de 16 horas com uma intensidade que não exceda $15\text{-}20 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

1.8.1.6. *Temperatura*

A temperatura do meio de ensaio deve situar-se entre 18 e 22 °C. No entanto, para qualquer ensaio, a temperatura não deve, se possível, variar mais do que 2 °C dentro destes limites (por exemplo, 18-20, 19-21 ou 20-22 °C). Poderá ser vantajoso utilizar um recipiente de ensaio adicional para a monitorização da temperatura.

1.8.1.7. *Arejamento*

Os recipientes de ensaio não devem ser arejados durante o ensaio.

1.8.2. **Concentrações de ensaio**

Normalmente deverão ser testadas pelo menos cinco concentrações de ensaio, dispostas numa série geométrica com um factor de separação que não exceda de preferência 3.2 e deverá ser utilizado um número de repetições apropriado para cada concentração de ensaio (ver ponto 1.8.1.3). Se forem utilizadas menos de cinco concentrações, deverá ser apresentada uma justificação. As substâncias não devem ser ensaiadas acima do seu limite de solubilidade no meio de ensaio.

Na escolha da gama de concentrações, importa ter presente o seguinte:

- i) Se o objectivo consistir em determinar a LOEC/NOEC, o valor da menor concentração de ensaio deve ser suficientemente baixo de modo a que a fecundidade àquela concentração não seja significativamente inferior à do controlo. Se não for este o caso, o ensaio terá de ser repetido reduzindo a da menor concentração ensaiada;
- ii) Se o objectivo for a determinação da LOEC/NOEC, o valor da maior concentração de ensaio deve ser suficientemente elevado para que a fecundidade àquela concentração seja significativamente inferior à do controlo. Se não for este o caso, o ensaio terá de ser repetido com um aumento da maior concentração;
- iii) Se for estimada a CE_x para os efeitos sobre a reprodução, é aconselhável utilizar concentrações suficientes de modo a definir a CE_x com um nível de confiança apropriado. Se for estimada a CE_{50} para os efeitos sobre a reprodução, é aconselhável que a maior concentração de ensaio seja superior a este valor CE_{50} . De outro modo, embora seja ainda possível estimar o valor CE_{50} , o intervalo de confiança para o valor CE_{50} será muito alargado e poderá não ser possível estabelecer satisfatoriamente o nível de adequação do modelo ajustado;
- iv) A gama de concentrações de ensaio não deverá incluir, de preferência, quaisquer concentrações que tenham um efeito estatisticamente significativo na sobrevivência de adultos, pois tal alteraria a natureza do ensaio, transformando um ensaio de reprodução simples num ensaio combinado de reprodução e mortalidade, o que exigiria uma análise estatística muito mais complexa.

O conhecimento prévio da toxicidade da substância de ensaio (obtido a partir de um ensaio de toxicidade aguda e/ou de estudos preliminares para determinação das concentrações, por exemplo) deverá ajudar na selecção das concentrações de ensaio apropriadas.

Quando for utilizado um solvente ou dispersante na preparação de soluções de ensaio (ver ponto 1.6.4), a sua concentração final nos recipientes de ensaio não deverá ser superior a 0,1 ml/l e deverá ser a mesma em todos os recipientes de ensaio.

1.8.3. **Controlos**

A par das séries de ensaio, deve ser realizada uma série de ensaios de controlo do meio c, se aplicável, uma série de controlo contendo o solvente ou o dispersante. Quando forem utilizados solventes ou dispersantes, a sua concentração deve ser igual à utilizada nos recipientes contendo a substância de ensaio. Deve utilizar-se um número apropriado de repetições (ver ponto 1.8.1.3).

Em geral, num ensaio bem realizado, o coeficiente de variação relativamente ao número médio de descendentes vivos produzidos por animal progenitor no(s) controlo(s) deve ser < 25 %, o que deverá ser descrito nos planos de ensaio que utilizem animais mantidos individualmente.

1.8.4. Renovação do meio de ensaio

A frequência da renovação do meio dependerá da estabilidade da substância de ensaio, mas deve ser no mínimo de três vezes por semana. Se, a partir de ensaios de estabilidade preliminares (ver ponto 1.4) a concentração da substância de ensaio não for estável (isto é, se ela se situar fora da gama de 80-120 % do valor nominal ou abaixo de 80 % da concentração inicial medida) durante o período máximo de renovação (isto é, três dias), deve considerar-se uma renovação mais frequente do meio ou efectuar um ensaio por escoamento.

Nos ensaios semi-estáticos, quando o meio é renovado, deverá preparar-se uma segunda série de recipientes de ensaio e para onde se transferem os animais progenitores utilizando, por exemplo, uma pipeta de vidro de diâmetro adequado. O volume do meio transferido com a *Daphnia* deve ser reduzido ao mínimo.

1.8.5. Observações

Os resultados das observações realizadas durante o ensaio devem ser registados em folhas de dados (ver exemplos nos apêndices 3 e 4). Se tiverem de ser efectuadas outras medições, poderá ser necessário efectuar observações adicionais (ver pontos 1.3 e 1.8.8).

1.8.6. Descendência

Os descendentes produzidos por cada animal progenitor devem ser retirados e contados, de preferência diariamente desde o aparecimento dos primeiros juvenis, para evitar que estes consumam a comida destinada aos adultos. Embora para atingir o objectivo deste método apenas seja necessário contar o número de descendentes vivos, a presença de ovos abortados ou descendentes mortos também deverá ser indicada no relatório.

1.8.7. Mortalidade

A mortalidade entre os animais progenitores deve ser registada, de preferência diariamente ou, no mínimo, quando se efectua a contagem dos descendentes.

1.8.8. Outros parâmetros

Embora este método seja planeado sobretudo para avaliar os efeitos sobre a reprodução, é possível que outros efeitos possam também ser suficientemente quantificados de modo a permitir uma análise estatística. As medições relativas ao crescimento são desejáveis, pois fornecem informação sobre possíveis efeitos subletais, que podem ser mais úteis que a simples medição relativa à reprodução. Recomenda-se a medição do comprimento dos animais progenitores (isto é, o comprimento do corpo excluindo o espinho anal) no fim do ensaio. O tempo necessário para a produção da primeira ninhada (e seguintes), o número e tamanho das ninhadas por animal progenitor, o número de ovos abortados, a presença de machos ou ovos de repouso (*ephippia*) e a taxa intrínseca de crescimento da população são outros parâmetros que podem ser medidos ou calculados.

1.8.9. Frequência das determinações analíticas e medições

Pelo menos uma vez por semana, deve ser medida a concentração de oxigénio, a temperatura, o grau de dureza e os valores de pH nos meios frescos e velhos, nos controlo(s) e na maior concentração da substância de ensaio.

As concentrações da substância de ensaio são determinadas a intervalos regulares durante o ensaio.

Nos ensaios semi-estáticos, em que a concentração da substância de ensaio deverá manter-se entre ± 20 % do valor nominal (isto é, dentro da gama dos 80-120 % — ver 1.4 e 1.8.4), recomenda-se que, no mínimo, sejam analisadas a maior e menor concentrações de ensaio quando acabadas de preparar e uma vez durante a primeira semana do ensaio, na altura da renovação do meio (isto é, devem efectuar-se análises numa amostra da solução no momento em que esta acaba de ser preparada e no momento da renovação do meio). A partir de então, estas determinações devem ser repetidas, pelo menos, a intervalos semanais.

Para os ensaios em que não é esperado que a concentração da substância de ensaio se mantenha dentro de ± 20 % do valor nominal, é necessário analisar todas as concentrações de ensaio no momento em que as soluções acabam de ser preparadas e na altura da renovação do meio. No entanto, para os ensaios em que a concentração inicial medida da substância de ensaio não se encontra no intervalo de ± 20 % do valor nominal, mas em que é possível fornecer provas suficientes de que as concentrações iniciais são reprodutíveis e estáveis (isto é, mantêm-se dentro da gama dos 80 — 120 % das concentrações iniciais), as determinações químicas para concentrações de ensaio poderão ser reduzidas na segunda e terceira semana do ensaio, limitando-se à maior e menor concentração. Em todos os casos, a determinação das concentrações da substância de ensaio antes da renovação do meio só precisa de ser efectuada no recipiente de uma das repetições, para cada concentração de ensaio.

Se for efectuado um ensaio por escoamento, é adequado aplicar um método de amostragem semelhante ao descrito para os ensaios semi-estáticos (não sendo, neste caso, aplicável a medição de soluções «usadas»). No entanto pode ser aconselhável aumentar o número de amostragens durante a primeira semana (efectuando três conjuntos de medições, por exemplo) de modo a assegurar que as concentrações de ensaio se mantêm estáveis. Nestes tipos de ensaio, a taxa de fluxo do diluente e da substância de ensaio deverá ser verificada diariamente.

Se existirem provas de que, durante o ensaio, a concentração da substância de ensaio não excedeu $\pm 20\%$ do valor da concentração nominal ou da concentração inicial medida, os resultados podem basear-se nos valores nominais ou iniciais medidos. Se o desvio em relação ao valor nominal ou da concentração inicial medida for superior a $\pm 20\%$, os resultados devem ser expressos através da média ponderada em função do tempo (ver o apêndice 5).

2. DADOS E RELATÓRIO

2.1. TRATAMENTO DOS RESULTADOS

O objectivo deste ensaio consiste em determinar o efeito da substância de ensaio no número total de descendentes vivos produzidos por animal progenitor vivo no fim do ensaio. Deverá calcular-se o número total de descendentes por animal progenitor em cada recipiente de ensaio (isto é, em cada repetição). Se, em qualquer repetição, se observar a presença de animais progenitores mortos durante o ensaio ou se o progenitor for um macho, a repetição é excluída do ensaio. A análise basear-se-á então num número reduzido de repetições.

Para determinar a LOEC e, consequentemente, a NOEC em relação aos efeitos da substância química na produção de descendência, é necessário calcular a produção da descendência média nas repetições de cada concentração e o desvio-padrão residual conjunto, o que poderá ser feito através de uma análise de variância (ANOVA). A média para cada concentração deve ser então comparada com a média observada no controlo, utilizando um método de comparações múltiplas apropriado. Os testes de Dunnett ou Williams (14) (15) (16) (17) poderão ser úteis para o efeito. É necessário verificar se se verifica a presunção de homogeneidade da variância calculada através da ANOVA. Recomenda-se que isso seja realizado graficamente e não por meio de um teste de significância formal (18); uma alternativa adequada consiste em realizar um teste de Bartlett. Se esta presunção não se verificar, deve considerar-se a transformação dos dados de modo a homogeneizar as variâncias antes de realizar a ANOVA, ou a realização de uma ANOVA ponderada. Deve ser calculada e registada a dimensão do efeito detectável através da ANOVA (isto é, a diferença menos significativa).

Para efectuar uma estimativa da concentração que causaria uma redução de 50 % no resultado reprodutivo (isto é, a CE_{50}), deverá ajustar-se aos dados uma curva adequada (curva logística, por exemplo), utilizando um método estatístico como, por exemplo, o método dos mínimos quadrados. A curva pode ser parametrizada de modo a que a CE_{50} e o seu desvio-padrão possam ser estimados directamente, o que facilitaria enormemente o cálculo dos limites de confiança da CE_{50} . Deverão ser utilizados limites de confiança de mais ou menos 95 %, a não ser que existam boas razões para preferir níveis de confiança diferentes. É aconselhável que o procedimento de ajuste da curva permita avaliar a significância dos desvios. Isto poderá ser realizado graficamente ou dividindo a soma residual dos quadrados em «desvios de ajuste» e «componentes de erro puro» e realizando um teste de significância para os desvios. Uma vez que os tratamentos que resultam em elevada fecundidade são susceptíveis de registar, relativamente ao número de juvenis produzidos, uma variação superior à que se verifica nos tratamentos que resultam em baixa fecundidade, deverá considerar-se a ponderação dos valores observados de modo a reflectir as diferentes variâncias nos diferentes grupos de tratamento [para informação sobre este assunto, ver referência (18)].

Na análise dos dados do ensaio interlaboratorial final (2), a curva logística foi ajustada utilizando o modelo seguinte, embora possam ser adoptados outros modelos adequados:

$$Y = \frac{c}{1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^b}$$

em que:

Y = é o número total de juvenis por animal progenitor vivo no fim do ensaio (calculado para cada recipiente)

x = é o valor da concentração da substância

c = é o número esperado de juvenis quando $x = 0$

x_0 = é o valor CE_{50} na população

b = é o parâmetro de declive

Este modelo deverá ser adequado num elevado número de situações, embora possivelmente não o seja para todos os ensaios. Como se propõe acima, deve realizar-se um teste para verificar a validade do modelo. Em alguns casos, poderá ser apropriado utilizar um modelo hormesis, no qual os efeitos observados a baixas concentrações são ampliados (19).

Poderão também ser estimadas outras concentrações, tais como a CE_{10} ou CE_{20} , embora neste caso possa ser preferível utilizar uma parametrização do modelo diferente da utilizada para estimar a CE_{50} .

2.2. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deve incluir o seguinte:

2.2.1. Substância de ensaio:

- natureza física e propriedades físico-químicas relevantes,
- dados relativos à identificação química, incluindo a pureza.

2.2.2. Espécie de ensaio:

- o clone (quer tenha sido ou não geneticamente identificado), o fornecedor ou fonte (se conhecidos) e as condições de cultura utilizadas. Se for utilizada uma espécie diferente de *Daphnia magna*, tal deverá ser registado e justificado.

2.2.3. Condições do ensaio:

- o método de ensaio utilizado (por exemplo, semi-estático ou por escoamento, o volume, a carga expressa em número de *Daphnia* por litro),
- fotoperíodo e intensidade da luz,
- plano do ensaio (número de repetições, número de progenitores por repetição, por exemplo),
- informações pormenorizadas sobre o meio de cultura utilizado,
- eventuais adições de material orgânico, incluindo a composição, a fonte, o método de preparação, o COT/CQO de preparações de reserva, a estimativa do COT/CQO resultante no meio de ensaio,
- informação pormenorizada sobre a alimentação, incluindo as quantidades (em mg C/*Daphnia*/dia) e a descrição [o tipo de alimento(s), incluindo — para as algas — o nome específico (espécie) e, se conhecida, a estirpe e as condições de cultura, por exemplo],
- método de preparação das soluções de reserva e frequência de renovação do meio (quando utilizados, devem ser fornecidas as concentrações do solvente ou dispersante).

2.2.4. Resultados:

- resultados de quaisquer estudos preliminares sobre a estabilidade da substância de ensaio,
- o valor nominal das concentrações de ensaio e os resultados de todas as análises para determinar a concentração da substância de ensaio nos recipientes de ensaio (ver exemplo de folha de dados no apêndice 4); a eficiência de recuperação do método e o limite de determinação também deverão ser registados,
- a qualidade da água nos recipientes de ensaio (isto é, o pH, a temperatura e a concentração de oxigénio dissolvido, assim como o COT e/ou a CQO e a dureza, quando aplicável) (ver exemplo de folha de dados no apêndice 3),
- o registo completo da descendência viva de cada animal progenitor (ver exemplo nas folhas de dados do apêndice 3),
- o número de animais progenitores mortos e o dia em que ocorreu a morte (ver exemplo de folha de dados no apêndice 3).

- o coeficiente de variação da fecundidade no controlo (baseado no número total de descendentes vivos por animal progenitor vivo no fim do ensaio),
- representação gráfica do número total de descendentes vivos por animal progenitor vivo (para cada repetição) no fim do ensaio, em função da concentração da substância de ensaio,
- a menor concentração com efeito observável (LOEC) na reprodução, incluindo uma descrição dos métodos estatísticos utilizados, uma indicação da dimensão do efeito que poderia ser detectada e a concentração sem efeito observável (NOEC) na reprodução; quando for apropriado, também deverão ser registados os valores LOEC/NOEC para a mortalidade dos animais progenitores,
- quando for apropriado, o valor CE_x para a reprodução, os intervalos de confiança, um gráfico do modelo ajustado utilizado para o seu cálculo, o declive da curva de dose/resposta e o seu desvio-padrão,
- outras medições ou efeitos biológicos observados: descrição de qualquer outro efeito biológico que tenha sido observado ou medido (crescimento de animais progenitores, por exemplo), incluindo qualquer justificação apropriada,
- uma explicação para qualquer desvio do método de ensaio.

3. REFERÊNCIAS

- (1) OECD Test Guideline Programme, Report of the Workshop on the *Daphnia magna* Pilot Ring Test, Sheffield University, UK, 20-21 March 1993.
- (2) OECD Environmental Health and Safety Publications. Series on Testing and Assessment No. 6. Report of the Final Ring Test of the *Daphnia magna* Reproduction Test Paris. 1997.
- (3) Baird D. J., Barber J., Bradley M. C., Soares A. M. V. M. and Calow P. (1991). A comparative study of genotype sensitivity to acute toxic stress using clones of *Daphnia magna* Strauss. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 21, p. 257-265.
- (4) Elendt B. P., (1990). Selenium deficiency in Crustacea; An ultrastructural approach to antennal damage in *Daphnia magna* Straus. *Protoplasma*, 154, p. 25-33.
- (5) EPA (1993). Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms. (Fourth ed.). EPA/600/4-90/027F. C. I. Weber (ed), USEPA, Cincinnati, Ohio.
- (6) Vigano L., (1991) Suitability of commercially available spring waters as standard medium for culturing *Daphnia magna*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 47, p. 775-782.
- (7) ASTM (1988). Standard Guide for Conducting Acute Toxicity Tests with Fishes, Macroinvertebrates and Amphibians. E729-88a. American Society for Testing and Materials, Philadelphia P.A. 20 p.
- (8) Baird D. J., Soares A. M. V. M., Girling A., Barber J., Bradley M. C. and Calow P. (1989). The long term maintenance of *Daphnia magna* Strauss for use in ecotoxicological tests; problems and prospects. In: *Proceedings of the 1st European Conference on Ecotoxicology*. Copenhagen 1988 (H.Løkke, H. Tyle & F. Bro-Rasmussen. Eds.), p. 144-148.
- (9) Parkhurst B. R., Forte J. L. and Wright G. P. (1981). Reproducibility of a life-cycle toxicity test with *Daphnia magna*. *Bull. Environ. Contam. and Toxicol.*, 26, p. 1-8.
- (10) Cowgill U. M. and Milazzo D. P. (1990) The sensitivity of two cladocerans to water quality variables: salinity and hardness. *Arch. Hydrobiol.*, 120(2), p. 185-196.
- (11) Korshikov (1990). *Pseudokirchneriella subcapitata* Hindak, F-1990. *Biologice Prace*, 36, 209.
- (12) Sims I. R., Watson S. and Holmes D. (1993). Toward a standard *Daphnia* juvenile production test. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 12, p. 2053-2058.

-
- (13) Sims I. (1993). Measuring the growth of phytoplankton: the relationship between total organic carbon with three commonly used parameters of algal growth. *Arch. Hydrobiol.*, 128, p. 459-466.
- (14) Dunnett C. W., (1955). A multiple comparisons procedure for comparing several treatments with a control. *J. Amer. Statist. Assoc.*, 50, p. 1096-1121.
- (15) Dunnett C. W., (1964). New tables for multiple comparisons with a control. *Biometrics*, 20, p. 482-491.
- (16) Williams D. A. (1971). A test for differences between treatment means when several dose levels are compared with a zero dose control. *Biometrics* 27, p. 103-117.
- (17) Williams D. A. (1972). The comparison of several dose levels with a zero dose control. *Biometrics*, 28, p. 510-531.
- (18) Draper N. R. and Smith H. (1981). *Applied Regression Analysis*, second edition, Wiley, N.Y.
- (19) Brain P. and Cousens R. (1989). An equation to describe dose responses where there is stimulation of growth at low doses. *Weed Research*, 29, p. 93-96.
- (20) Wilson E. O. and Bossert, W. H. (1971). *A Primer of Population Biology*. Sinauer Associates Inc. Publishers.
- (21) Poole R. W. (1974). *An Introduction to quantitative Ecology*. McGraw-Hill Series in Population Biology, New York, p. 532.
- (22) Meyer J. S., Ingersoll C. G., McDonald L. L. and Boyce M. S. (1986). Estimating uncertainty in population growth rates: Jackknife vs bootstrap techniques. *Ecology*, 67, p. 1156-1166.

Apêndice I

PREPARAÇÃO DOS MEIOS TOTALMENTE DEFINIDOS ELENDT M7 E M4

Aclimação aos meios Elendt M7 e M4

Alguns laboratórios tiveram dificuldades na transferência directa de *Daphnia* para os meios M4 (1) e M7. No entanto, obteve-se algum sucesso com uma aclimação gradual, isto é, transferindo do próprio meio para Elendt a 30 %, a 60 % e, por fim, a 100 %. Os períodos de aclimação necessários podem atingir a duração de um mês.

PREPARAÇÃO

Elementos vestigiais

Em primeiro lugar, preparam-se soluções de reserva separadas (I) de elementos vestigiais individuais em água com um grau de pureza adequado — por exemplo, desionizada, destilada ou submetida a osmose inversa. A partir destas soluções de reserva individuais (I), é preparada uma segunda solução de reserva simples (II), que contém todos os elementos vestigiais (solução combinada), isto é:

Soluções de reserva I (substância simples)	Quantidade adicionada à água (mg/l)	Concentração (em relação ao meio M4) x (vezes)	Para preparar a solução de reserva combinada II, adicionar a seguinte quantidade de solução de reserva I à água (ml/l)	
			M 4	M 7
H ₃ BO ₃	57 190	20 000	1,0	0,25
MnCl ₂ * 4 H ₂ O	7 210	20 000	1,0	0,25
LiCl	6 120	20 000	1,0	0,25
RbCl	1 420	20 000	1,0	0,25
SrCl ₂ * 6 H ₂ O	3 040	20 000	1,0	0,25
NaBr	320	20 000	1,0	0,25
Na ₂ MoO ₄ * 2 H ₂ O	1 260	20 000	1,0	0,25
CuCl ₂ * 2 H ₂ O	335	20 000	1,0	0,25
ZnCl ₂	260	20 000	1,0	1,0
CoCl ₂ * 6 H ₂ O	200	20 000	1,0	1,0
KI	65	20 000	1,0	1,0
Na ₂ SeO ₃	43,8	20 000	1,0	1,0
NH ₄ VO ₃	11,5	20 000	1,0	1,0
Na ₂ EDTA • 2 H ₂ O	5 000	2 000	—	—
FeSO ₄ * 7 H ₂ O	1 991	2 000	—	—
Ambas as soluções Na ₂ EDTA e FeSO ₄ são preparadas individualmente, juntas e imediatamente autoclavadas. Isto dá:				
21 solução Fe-EDTA		1 000	20,0	5,0

Meios M4 e M7

Os meios M4 e M7 são preparados utilizando a solução de reserva II, os macronutrientes e as vitaminas tal como indicado:

	Quantidade adicionada à água (mg/l)	Concentração (relacionada com o meio M4) X (vezes)	Quantidade de solução de reserva adicionada para preparar o meio ml/l	
			M 4	M 7
Solução de reserva 11 elementos vestigiais combinados		20	50	50

Soluções de reserva de macronutrientes (substância única)

CaCl ₂ * 2 H ₂ O	293 800	1 000	1,0	1,0
MgSO ₄ * 7 H ₂ O	246 600	2 000	0,5	0,5
KCl	58 000	10 000	0,1	0,1
NaHCO ₃	64 800	1 000	1,0	1,0
Na ₂ SiO ₃ * 9 H ₂ O	50 000	5 000	0,2	0,2
NaNO ₃	2 740	10 000	0,1	0,1
KH ₂ PO ₄	1 430	10 000	0,1	0,1
K ₂ HPO ₄	1 840	10 000	0,1	0,1
Solução de reserva de vitaminas	—	10 000	0,1	0,1

A solução de reserva de vitaminas é preparada adicionando as três vitaminas a 1 l de água como se mostra em baixo::

Hidrocloreto de tiamina	750	10 000	—	—
Cianocobalamina (B ₁₂)	10	10 000	—	—
Biotina	7,5	10 000	—	—

A solução de reserva de vitaminas é armazenada e congelada em pequenas alíquotas. As vitaminas são adicionadas ao meio imediatamente antes da utilização.

Notas: Para evitar a precipitação dos sais quando se prepara o meio completo, adicionar as alíquotas de soluções de reserva a cerca de 500-800 ml de água desionizada e perfazer até 1 l.

A primeira publicação relativa ao meio M4 tem a seguinte referência: Elendt, B.P. (1990). *Selenium deficiency in crustacea: an ultrastructural approach to antennal damage* in *Daphnia magna* Straus. *Protoplasma*, 154, 25-33.

Apêndice 2

ANÁLISE DO CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) E PRODUÇÃO DE UM NOMOGRAMA PARA O TEOR COT DAS ALGAS QUE SERVEM DE ALIMENTO

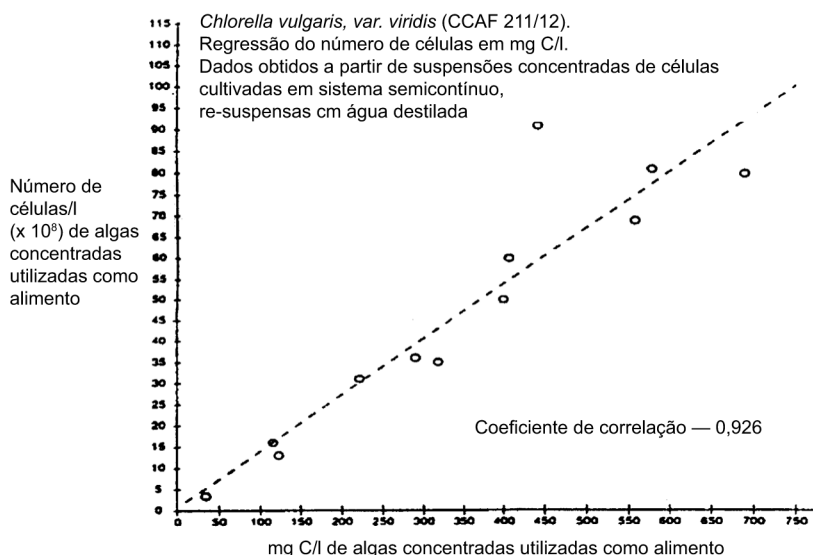
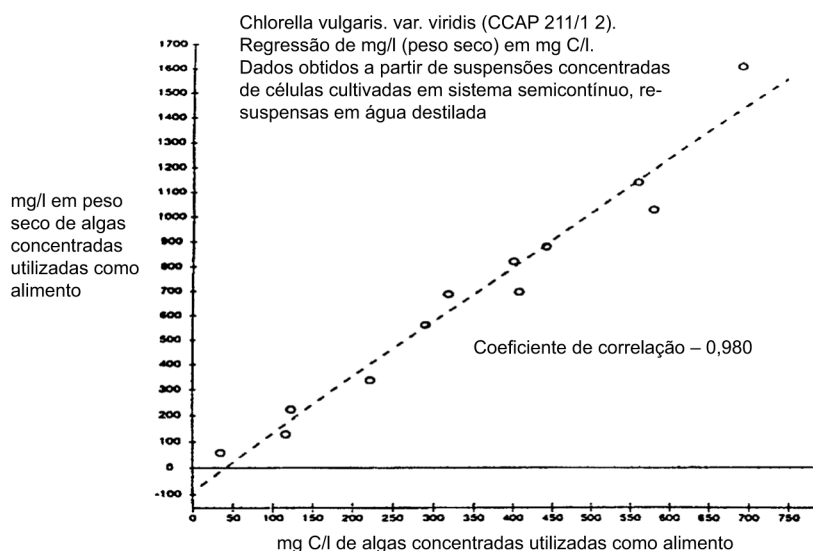
Reconhece-se que o teor de carbono das algas que servem de alimento não será normalmente medido directamente, mas sim através de correlações (isto é, nomogramas) com medições alternativas, tais como o número de células de algas ou a absorvância).

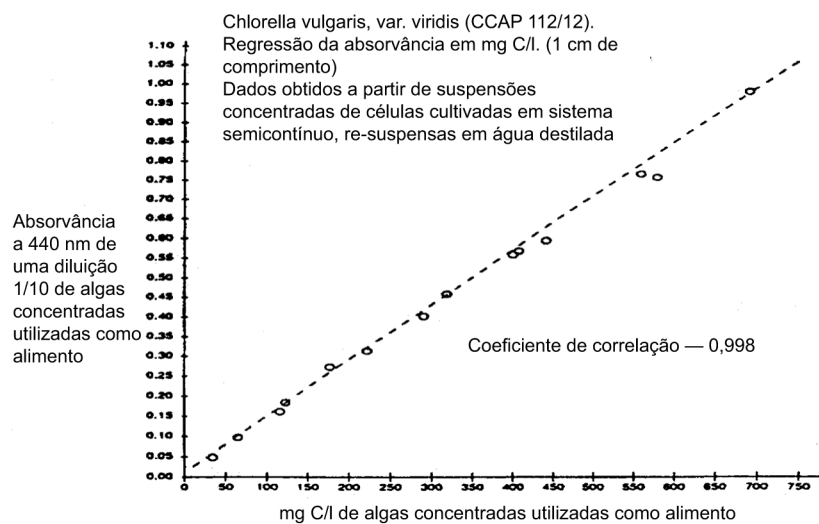
O COT deve ser medido por oxidação a alta temperatura em vez de utilizar métodos de UV ou persulfato. (ver: *The Instrumental Determination of Total Organic Carbon. Total Oxygen Demand and Related Determinands* 1979, HMSO 1980; 49 High Holborn, London WC1V 6HB).

Para a elaboração do nomograma, as algas devem ser separadas do meio de crescimento por centrifugação, seguida de re-suspensão em água destilada. Medir o parâmetro de substituição e a concentração de COT em cada amostra em triplicado. Devem ser analisados «brancos» de água destilada e a concentração de COT deverá ser deduzida a partir da concentração de COT presente na amostra de algas.

O nomograma deve ser linear em toda a gama de concentrações de carbono necessária. São indicados a seguir alguns exemplos.

Nota: Estes exemplos não deverão ser aproveitados para efectuar conversões; é essencial que os laboratórios preparem os seus próprios nomogramas.





EXEMPLO DE FOLHAS DE DADOS COM REGISTO DA RENOVAÇÃO DOS MEIOS, DADOS DE MONITORIZAÇÃO FÍSICA/QUÍMICA, ALIMENTAÇÃO, REPRODUÇÃO DE DAPHNIA E MORTALIDADE DE ADULTOS

Experiência número:	Dados iniciais:					Clone:		Meio:					Tipo de alimento					Substância de ensaio:					Conc. nominal:			
Dia	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21				
Renovação do meio (assinalar os dias)																										
PH (°)																							novos			
																							velho			
O ₂ mg/l (°)																							novos			
																							velho			
Temperatura (°C) (°)																							novos			
																							velho			
Alimentos fornecidos (assinalar os dias)																										
Número de descendentes vivos																								Total		
Recipiente 1																										
2																										
3																										
4																										
5																										
6																										
7																										
8																										

Experiência número:	Dados iniciais:				Clone:		Meio:				Tipo de alimento				Substância de ensaio:				Conc. nominal:					
Dia	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
9																								
10																								
																							Total	
Mortalidade cumulativa de adultos																								

(¹) Indicar o recipiente utilizado na experiência.

Apêndice 4

EXEMPLO DE FOLHA DE DADOS PARA REGISTO DE RESULTADOS DA ANÁLISE QUÍMICA

a) **Concentrações medidas**

Conc. nominal	Amostra da semana 1		Amostra da semana 2		Amostra da semana 3	
	Nova	Velha	Nova	Velha	Nova	Velha

b) **Concentrações medidas em percentagem do valor nominal**

Conc. nominal	Amostra da semana 1		Amostra da semana 2		Amostra da semana 3	
	Nova	Velha	Nova	Velha	Nova	Velha

Apêndice 5

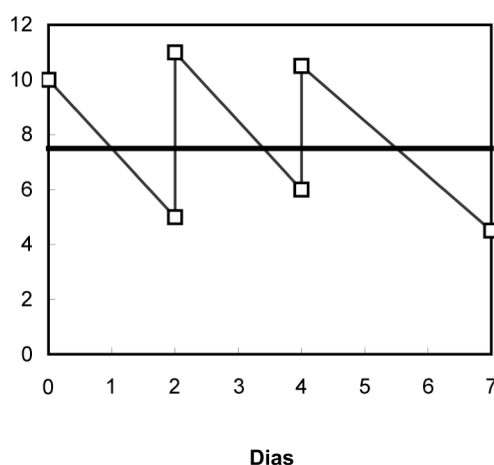
CÁLCULO DA MÉDIA PONDERADA EM FUNÇÃO DO TEMPO

Média ponderada em função do tempo

Considerando que a concentração da substância de ensaio pode diminuir durante o período entre renovações do meio, é necessário determinar um valor de concentração representativo da gama de concentrações a que os progenitores *Daphnia* foram expostos. A determinação desse valor deve basear-se tanto em considerações biológicas como estatísticas. Por exemplo, se se considerar que a reprodução é afectada principalmente pela concentração máxima experimentada, deverá utilizar-se a concentração máxima. No entanto, se se considerar que o efeito acumulado ou a longo prazo da substância tóxica tem um peso mais importante, será mais adequado utilizar um valor médio de concentração. Neste caso, a concentração média ponderada em função do tempo será um valor apropriado, uma vez que considera a variação da concentração instantânea ao longo do tempo.

Figura 1:

Exemplo de média ponderada em função do tempo



A figura 1 mostra um exemplo de um ensaio (simplificado) com a duração de sete dias, em que o meio é renovado nos dias 0, 2 e 4.

- A linha em ziguezague representa a concentração ao longo do tempo. Assume-se que a queda do valor de concentração segue uma curva exponencial.
- Os seis pontos representados no gráfico representam as concentrações medidas no início e fim de cada período de renovação.
- A linha mais espessa indica a posição da média ponderada em função do tempo.

A média ponderada em função do tempo é calculada de modo a que a área abaixo desse valor seja igual à área abaixo da curva de concentração. O quadro 1 apresenta em pormenor o cálculo correspondente ao exemplo da figura 1.

Quadro 1:

Cálculo da média ponderada em função do tempo

Número da renovação	Dias	Conc0	Conc 1	Ln(Conc0)	Ln(Conc1)	Área
1	2	10,000	4,493	2,303	1,503	13,767
2	2	11,000	6,037	2,398	1,798	16,544
3	3	10,000	4,066	2,303	1,403	19,781

Número da renovação	Dias	Conc0	Conc 1	Ln(Conc0)	Ln(Concl)	Área
Total de dias: 7					Área total	50,091
					Média ponderada em função do tempo	7,156

A coluna «Dias» corresponde ao número de dias no período de renovação.

A coluna «Conc0» corresponde à concentração medida no início de cada período de renovação.

A coluna «Conc1» corresponde à concentração medida no fim de cada período de renovação.

A coluna «Ln(Conc0)» corresponde ao logaritmo natural de Conc0.

A coluna «Ln(Conc1)» corresponde ao logaritmo natural de Concl.

A coluna «Área» corresponde à área abaixo da curva exponencial para cada período de renovação. É calculada através da seguinte fórmula:

$$\text{Área} = \frac{\text{Conc0} - \text{Conc1}}{\text{Ln(Conc0)} - \text{Ln(Conc1)}} \times \text{Dias}$$

A média ponderada em função do tempo (MPFT) é a «Área total» dividida pelo «Total de dias».

Para o ensaio de reprodução de *Daphnia*, o quadro deverá, obviamente, ser aumentado de modo a abranger 21 dias.

É óbvio que, quando as observações se limitam ao princípio e ao fim de cada período de renovação, não é possível confirmar se o decaimento segue, de facto, uma curva exponencial. Uma curva diferente resultará num cálculo diferente para os valores da «Área». No entanto, o decaimento seguindo uma curva exponencial constitui um modelo plausível, que não é de excluir e que, na ausência de outras informações, constituirá, provavelmente, a curva mais adequada.

No entanto, é necessário tomar algum cuidado no caso de a análise química não permitir detectar a substância no fim do período de renovação. A não ser que seja possível estimar a velocidade a que a substância desapareceu da solução, é impossível obter uma área realista abaixo da curva e, consequentemente, é impossível obter uma média ponderada em função do tempo que seja razoável.

C.21. MICROORGANISMOS DO SOLO: ENSAIO DE TRANSFORMAÇÃO DE AZOTO**1. MÉTODO**

O presente método de ensaio baseia-se na publicação OCDE TG 216 (1999).

1.1. INTRODUÇÃO

O presente método de ensaio descreve um método laboratorial concebido para a investigação dos efeitos, a longo prazo, resultantes de uma única exposição a produtos químicos, na capacidade de transformação do azoto pelos microorganismos do solo. O ensaio baseia-se, fundamentalmente, nas recomendações da Organização Europeia e Mediterrânica para a Protecção das Plantas (1), embora tenham sido igualmente consideradas outras linhas de orientação, nomeadamente as fornecidas pelas seguintes organizações: Biologische Bundesanstalt da Alemanha (2); Agência de Protecção do Ambiente dos EUA (3); SETAC (4) e Organização Internacional de Normalização (ISO) (5). As orientações respeitantes ao número e tipo de solos a utilizar neste ensaio são as acordadas na reunião de trabalho da OCDE sobre Selecção de Solos/Sedimentos que decorreu em Belgirate, Itália, em 1995 (6). As recomendações respeitantes à recolha, manuseamento e armazenamento de amostras de solos baseiam-se nas normas ISO 10381-6 (7) e nas recomendações da reunião de Belgirate. A determinação e avaliação das características de toxicidade de determinadas substâncias de ensaio poderão requerer a determinação dos seus efeitos sobre a actividade microbiana dos solos, por exemplo, quando se pretendem conhecer os potenciais efeitos secundários de produtos utilizados na protecção de culturas agrícolas sobre a microflora do solo ou quando se prevê a exposição dos microorganismos do solo a outro tipo de substâncias químicas. O ensaio de transformação de azoto aplica-se na determinação dos efeitos destes produtos sobre a microflora do solo. No ensaio de produtos químicos agrícolas (por exemplo, produtos de protecção de culturas, fertilizantes, químicos florestais) deverão realizar-se os ensaios de transformação de azoto e de transformação de carbono. Nos ensaios de produtos químicos não agrícolas, considera-se suficiente a realização do ensaio de transformação de azoto, ressalvando-se os casos em que os valores de CE_{50} obtidos no ensaio de transformação de azoto se encontrem dentro dos valores correspondentes aos inibidores de nitrificação comerciais (por exemplo, nitrápirina), casos em que deve ser efectuado um ensaio de transformação de carbono no sentido de se obter informação adicional.

Os solos são misturas complexas e heterogéneas de elementos vivos e não vivos. Os microorganismos desempenham um papel importante na decomposição e transformação da matéria orgânica em solos férteis através de processos complexos em que diversas espécies contribuem de forma distinta para cada um dos factores que determinam a fertilidade do solo. Por este motivo, qualquer interferência a longo prazo nos processos bioquímicos envolvidos constitui uma potencial interferência nos ciclos nutricionais, podendo vir a afectar a fertilidade do solo. A transformação de carbono e de azoto ocorre em todos os solos férteis e, ainda que as comunidades de microorganismos responsáveis por estes processos divirjam de solo para solo, as vias e processos de transformação são essencialmente os mesmos.

O Método de Ensaio aqui descrito foi desenvolvido com o objectivo de determinar os efeitos adversos a longo prazo de uma substância no processo de transformação de azoto em solos aeróbios de superfície. Este método de ensaio permite ainda estimar os efeitos dos produtos testados sobre a transformação de carbono pela microflora dos solos. Uma vez que a formação de nitratos ocorre subsequentemente à quebra das ligações azoto-carbono, a observação de taxas idênticas de produção de nitratos em solos tratados e de referência indica que é muito elevada a probabilidade de as principais etapas de degradação do carbono se encontrarem intactas e funcionais. O substrato escolhido para o ensaio (farinha de luzerna) possui uma relação carbono/azoto adequada (geralmente entre 12/1 e 16/1). Por este motivo, a privação de carbono é reduzida durante o ensaio e, no caso de as comunidades de microorganismos serem afectadas por um produto químico, será possível a sua recuperação num período de 100 dias.

Os ensaios que serviram de base ao presente Método de Ensaio foram inicialmente desenvolvidos para substâncias relativamente às quais é possível estimar a quantidade de substância que atinge o solo. É o caso, por exemplo, dos produtos utilizados para a protecção de culturas agrícolas, uma vez que é conhecida a sua taxa de aplicação nos campos. No caso de produtos químicos agrícolas, considera-se suficiente o ensaio de duas doses relevantes, relativamente à taxa de aplicação estimada ou prevista. Os produtos químicos agrícolas podem ser testados como ingredientes activos (i.a.) ou como formulações. A aplicação deste ensaio não se limita, no entanto, a produtos químicos agrícolas. Fazendo variar simultaneamente a quantidade de substância de ensaio aplicada no solo e o método de avaliação dos dados, o ensaio poderá ser igualmente utilizado em situações em que não é conhecida a quantidade de produto químico que atinge o solo. Deste modo, para produtos químicos não agrícolas, deverão determinar-se os efeitos de uma série de concentrações sobre a transformação de azoto e utilizar-se os dados obtidos nesses ensaios para construir uma curva de dose-resposta, a partir da qual se calculam os valores de CE_x , em que x corresponde à percentagem de efeito.

1.2. DEFINIÇÕES

Transformação de azoto: é a degradação total por microorganismos de matéria orgânica contendo azoto, através do processo de amonificação e nitrificação, até ao respectivo nitrato inorgânico final.

EC_x (Concentração Efectiva): é a concentração da substância de ensaio no solo que resulta numa percentagem x de inibição da transformação de azoto em nitrato.

EC₅₀ (Concentração Média Efectiva): é a concentração da substância de ensaio no solo que resulta em 50 % de inibição da transformação de azoto em nitrato.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Nenhuma.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

Depois de peneirado, adiciona-se ao solo uma farinha de cereal, após o que se reserva uma parte que irá ser utilizada como controlo e se trata o restante com a substância de ensaio. No ensaio de produtos químicos agrícolas recomenda-se o teste de um mínimo de duas concentrações, que deverão ser escolhidas tendo em conta a maior concentração de substância que se prevê que venha a ser aplicada no campo. Após 0, 7, 14 e 28 dias de incubação, procede-se à extracção de amostras dos solos tratados e de controlo com um solvente adequado e determinam-se as quantidades de nitratos nos extractos. A taxa de formação de nitratos nas amostras tratadas é comparada com a taxa de formação de nitratos nas amostras de controlo e calcula-se a percentagem de desvio das amostras tratadas. Todos os ensaios têm uma duração mínima de 28 dias. Se ao 28.º dia as diferenças entre as amostras tratadas e as amostras não tratadas forem iguais ou superiores a 25 %, deverão continuar a efectuar-se medições até ao limite de 100 dias. Nos ensaios de produtos químicos não agrícolas, adiciona-se uma série de concentrações da substância de ensaio a amostras de solo, medindo-se as quantidades de nitratos formadas nas amostras tratadas e nas amostras de controlo após 28 dias de incubação. Os resultados dos ensaios com múltiplas concentrações são analisados através de um modelo de regressão, com base no qual se calculam os valores de CE_x (isto é: CE₅₀, CE₂₅ ou CE₁₀). Ver definições.

1.5. VALIDADE DO ENSAIO

As análises dos resultados dos ensaios com produtos químicos agrícolas baseiam-se em diferenças relativamente pequenas (isto é, com um valor médio de ± 25 %) entre as concentrações de nitrato nas amostras de solo tratadas e nas amostras de controlo. Por este motivo, e uma vez que grandes variações entre as amostras de controlo podem conduzir a resultados falsos, a variação entre repetições das amostras de controlo deve ser inferior a ± 15 %.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.6.1. **Equipamento**

Os recipientes utilizados durante o ensaio devem ser de materiais quimicamente inertes e ter uma capacidade adequada ao método usado na incubação dos solos, isto é, a granel ou numa série de amostras de solo individualizadas (ver secção 1.7.1.2). Devem tomar-se precauções no sentido de minimizar as perdas de água e permitir trocas gasosas durante o ensaio (por exemplo, os recipientes de ensaio podem ser cobertos com folhas de polietileno perfuradas). Para o ensaio de substâncias voláteis, devem ser usados recipientes seláveis e estanques com dimensões que permitam que aproximadamente um quarto do seu volume seja ocupado pela amostra de solo.

Utiliza-se, para além do equipamento corrente de laboratório, o seguinte equipamento:

- mecanismo de agitação: agitador mecânico ou equipamento equivalente,
- mecanismo de centrifugação (3 000 g) ou de filtração (uso de filtro que não contenha nitratos),
- instrumento de sensibilidade e reprodutibilidade adequadas para análise de nitratos.

1.6.2. **Seleccção e número de solos**

No presente ensaio utiliza-se um único solo, cujas características recomendadas são as seguintes:

- teor de areia: não inferior a 50 % e não superior a 75 %,
- pH: 5,5 a 7,5,
- teor de carbono orgânico: 0,5 a 1,5 %,

- a biomassa microbiana deve ser medida (8)(9) e o seu teor de carbono deve corresponder, no mínimo, a 1 % do total de carbono orgânico do solo.

Na maioria dos casos, um solo com estas características representa a situação menos favorável, uma vez que nestas condições a adsorção da substância química de ensaio é mínima e a sua disponibilidade para a microflora é máxima. Por este motivo, a realização de ensaios com outros solos é geralmente desnecessária. Contudo, em determinadas circunstâncias, por exemplo, quando se prevê que a substância de ensaio venha a ser principalmente utilizada em solos específicos, tais como solos florestais ácidos, ou para produtos químicos com carga electrostática, poderá ser necessário utilizar um solo adicional.

1.6.3. Recolha e armazenamento das amostras de solo

1.6.3.1. Recolha

Deve existir, e estar disponível, informação pormenorizada sobre a história do local donde foram recolhidas, as amostras de solo para o ensaio. A informação necessária inclui a localização exacta, o coberto vegetal, as datas dos tratamentos com produtos utilizados para a protecção de culturas agrícolas, os tratamentos com fertilizantes orgânicos e inorgânicos, as aplicações de materiais biológicos e as de contaminações acidentais. Deverá ser escolhido, para a recolha de solo, um local que permita o seu uso a longo prazo. Consideram-se locais adequados: as pastagens permanentes, os campos com culturas anuais de cereais (à excepção de milho) ou os campos densamente semeados para produção de adubo natural. No local escolhido para a amostragem não devem ter sido aplicados produtos de protecção de culturas agrícolas, pelo menos, durante o último ano, nem nenhum fertilizante orgânico, pelo menos, nos últimos seis meses. O uso de fertilizantes minerais apenas poderá ser aceite quando em concordância com as necessidades das culturas agrícolas e, nesse caso, a recolha de amostras de solo não deverá ser efectuada antes de passados três meses após a aplicação do fertilizante. Deve ser evitado o uso de solos tratados com fertilizantes que tenham efeitos biocidas conhecidos (por exemplo, cianamida de cálcio).

Deve ser evitada a recolha de amostras durante, ou imediatamente após, períodos longos (superiores a 30 dias) de seca ou de excessos de água. Em solos lavrados, as amostras devem ser recolhidas a uma profundidade de 0 a 20 cm. Nas pastagens ou outros solos que não são lavrados durante períodos longos (pelo menos, uma época de cultivo), a profundidade máxima de amostragem pode ser ligeiramente superior a 20 cm (por exemplo, até 25 cm).

As amostras de solo devem ser transportadas em recipientes adequados, em condições de temperatura que garantam que as propriedades iniciais do solo não são alteradas de forma significativa.

1.6.3.2. Armazenamento

Sempre que possível, é de preferir a utilização de amostras de solos recolhidas na altura. Nos casos em que o armazenamento em laboratório não possa ser evitado, os solos devem ser armazenados no escuro, a uma temperatura de 4 ± 2 °C e por um período máximo de três meses. Durante o armazenamento dos solos, devem ser asseguradas condições aeróbias. Se os solos forem recolhidos em zonas onde permanecem gelados por períodos iguais ou superiores a três meses por ano, poderá ser considerada a hipótese do seu armazenamento durante seis meses a uma temperatura entre 18 °C negativos e 22 °C negativos. A biomassa microbiana de solos armazenados é medida antes de cada experiência e o teor de carbono na biomassa não deverá ser inferior a 1 % do teor total de carbono orgânico no solo (ver secção 1.6.2).

1.6.4. Manuseamento e preparação do solo para o ensaio

1.6.4.1. Pré-incubação

Se o solo esteve armazenado (ver secção 1.6.3.2), recomenda-se um período de pré-incubação de 2 a 28 dias. A temperatura e a humidade do solo durante a pré-incubação e o ensaio devem ser idênticas às utilizadas durante o ensaio (ver secções 1.6.4.2 e 1.7.1.3).

1.6.4.2. Características físico-químicas

Os objectos de grandes dimensões (por exemplo, pedras, pedaços de plantas, etc.) são removidos manualmente do solo e a amostra é peneirada húmida, evitando dessecação excessiva, de forma a reduzir as partículas a uma dimensão máxima de 2 mm. O teor de humidade da amostra de solo deve ser ajustado com água destilada ou desionizada para um valor entre 40 % e 60 % da sua capacidade máxima de retenção de água.

1.6.4.3. Adição de substrato orgânico

Deverá ser adicionado ao solo um substrato orgânico adequado — por exemplo, farinha de luzerna-erva-relva (componente principal: *Medicago sativa*) com uma relação C/N entre 12/1 e 16/1. A relação luzerna-solo recomendada é de 5 g de luzerna por quilograma de solo (peso seco).

1.6.5. **Preparação da substância de ensaio para aplicação no solo**

A aplicação da substância de ensaio no solo envolve, geralmente, a utilização de um excipiente (matriz de transporte), que pode ser água (para substâncias hidrossolúveis) ou um sólido inerte, como, por exemplo, areia fina de quartzo (tamanho de partículas: 0,1 a 0,5 mm). A utilização de outros excipientes líquidos (por exemplo, solventes orgânicos, como acetona, clorofórmio) deve ser evitada devido à possibilidade de virem a afectar a microflora. Nos casos em que se use areia como excipiente, esta pode ser coberta com a substância de ensaio em solução ou suspensão num solvente adequado. Nesses casos, o solvente deve ser removido por evaporação antes da mistura com o solo. De modo a otimizar a distribuição da substância de ensaio no solo, recomenda-se uma relação de 10 g de areia por quilograma de solo (peso seco). As amostras de controlo são tratadas com uma quantidade equivalente de água ou de areia de quartzo (sem adição de substância de ensaio).

Nos ensaios de produtos químicos voláteis importa, tanto quanto possível, evitar perdas durante o tratamento e procurar assegurar a homogeneidade da distribuição dos produtos no solo (por exemplo, as substâncias de ensaio devem ser injectadas em diferentes locais do solo).

1.6.6. **Concentrações de ensaio**

Nos ensaios de produtos químicos agrícolas devem ser usadas pelo menos duas concentrações. A concentração inferior deve reflectir, no mínimo, a quantidade máxima que se espera que, na prática, venha a atingir o solo, enquanto a concentração mais elevada deve ser um múltiplo da concentração inferior. As concentrações da substância de ensaio adicionada ao solo são calculadas assumindo uma incorporação uniforme até uma profundidade de 5 cm e uma densidade aparente do solo de 1,5. Para produtos químicos agrícolas que são aplicados directamente no solo ou para compostos químicos cuja quantidade que atinge o solo pode ser prevista, as concentrações recomendadas são a máxima concentração prevista no ambiente («predicted environmental concentration», PEC) e cinco vezes o valor dessa concentração. Nos casos em que se prevê que as substâncias sejam aplicadas diversas vezes no solo durante uma mesma estação, devem ser efectuados ensaios a concentrações correspondentes à multiplicação da PEC pelo número máximo de aplicações previsto. Contudo, a concentração máxima de ensaio não deve exceder dez vezes a taxa máxima para uma única aplicação. Nos ensaios de produtos químicos não agrícolas, deve ser usada uma série geométrica de, pelo menos, cinco concentrações. As concentrações usadas devem cobrir a gama necessária para os cálculos dos valores de CE_x .

1.7. **PROCEDIMENTO DO ENSAIO**

1.7.1. **Condições de Exposição**

1.7.1.1. *Tratamento e Controlo*

Nos ensaios de produtos químicos agrícolas, o solo é dividido em três porções de igual peso. Duas porções são misturadas com o excipiente contendo o produto e a terceira é misturada apenas com o excipiente (amostra de controlo). Recomenda-se um mínimo de três repetições para ambos os solos, tratado e de controlo. Nos ensaios de produtos químicos não agrícolas, o solo é dividido em seis porções de igual peso. Cinco das amostras são misturadas com o excipiente contendo o produto e a sexta é misturada com o excipiente não activado. Recomendam-se três repetições para ambos os solos, tratado e de controlo. Devem ser tomadas precauções de modo a assegurar uma distribuição homogénea da substância de ensaio nas amostras de solo tratadas. Durante a mistura deve evitar-se a aglomeração ou compactação do solo.

1.7.1.2. *Incubação das amostras de solo*

A incubação das amostras de solo pode ser realizada de duas formas: usando cada um dos solos, tratado e de controlo, como amostras únicas ou dividindo-os numa série de subamostras individualizadas e de igual peso. Contudo, no caso de substâncias voláteis, os ensaios devem ser realizados obrigatoriamente na forma de séries de subamostras individuais. Quando os solos são incubados como amostras únicas, preparam-se grandes quantidades de cada solo, tratado e de controlo, e vão-se retirando subamostras para análise, conforme necessário, ao longo do ensaio. A quantidade de solo inicialmente preparada para cada tratamento e para cada controlo depende do tamanho das subamostras a retirar durante o ensaio, do número de repetições a realizar e do número máximo de tempos de amostragem previsto. Os solos incubados como amostras únicas devem ser misturados vigorosamente antes de cada subamostragem. Quando os solos são incubados como uma série de amostras individualizadas, cada solo tratado e de controlo é inicialmente dividido no número de subamostras pretendido e estas utilizadas conforme necessário. Nas experiências em que se prevêem mais de dois tempos de amostragem, devem preparar-se subamostras em número suficiente para todas as repetições de todas as amostragens. Pelo menos, três repetições do solo de ensaio devem ser incubadas em condições aeróbias (ver secção 1.7.1.1). Os recipientes utilizados durante todos os testes devem possuir um volume livre suficiente para impedir o desenvolvimento de condições anaeróbias. Nos casos em que as substâncias de ensaio são voláteis, o ensaio só deve ser realizado com séries de subamostras individualizadas.

1.7.1.3. *Condições e duração dos ensaios*

O ensaio é realizado em câmara escura à temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Durante o ensaio, o teor de humidade das amostras de solo deve ser mantido entre 40 % e 60 % da capacidade máxima de retenção de água do solo (ver secção 1.6.4.2), com uma variação máxima de ± 5 %. Sempre que necessário, pode adicionar-se água destilada ou desionizada.

A duração mínima do ensaio é de 28 dias. Nos ensaios de produtos químicos agrícolas, comparam-se as taxas de formação de nitratos nas amostras tratadas e de controlo. Se estes valores diferirem em mais de 25 % após o 28.º dia, o ensaio continua até que essa diferença atinja um valor igual ou inferior a 25 % ou até ao 100.º dia. Para compostos químicos não agrícolas, o ensaio tem a duração de 28 dias. No 28.º dia, determinam-se as quantidades de nitratos nas amostras de solo tratadas e de controlo e calculam-se os valores de CE_x .

1.7.2. Amostragem e análise dos solos

1.7.2.1. Calendário de amostragem dos solos

Nos ensaios de produtos químicos agrícolas, analisa-se a quantidade de nitratos nas amostras de solo nos dias 0, 7, 14 e 28. Caso seja necessário prolongar o ensaio, após o 28.º dia devem efectuar-se medições com intervalos de 14 dias.

Nos ensaios de produtos químicos não agrícolas, testa-se um mínimo de cinco concentrações de ensaio e a análise de nitratos nas amostras de solo efectua-se no início (dia 0) e no fim do período de exposição (28.º dia). Nos casos em que tal se revele necessário, podem realizar-se medições intermédias — por exemplo, ao 7.º dia. Os dados obtidos ao 28.º dia são utilizados para determinar o valor de CE_x para o produto químico. Se desejado, os dados obtidos para a amostra de controlo no dia 0 podem ser utilizados para indicar a quantidade inicial de nitratos no solo.

1.7.2.2. Análise das amostras de solo

Para cada repetição de cada amostra de solo, tratada e de controlo, determina-se a quantidade de nitratos formada em cada tempo de amostragem. Os nitratos são removidos do solo por agitação das amostras num solvente de extracção adequado — por exemplo, uma solução 0,1 M de cloreto de potássio. Recomenda-se uma razão de 5 ml de solução de KCl por equivalente de grama de solo (peso seco). Para otimizar a extracção, a mistura da amostra de solo com a solução de extracção não deve ocupar mais de metade do volume do recipiente de extracção. As misturas são agitadas a 150 rpm durante 60 minutos e em seguida centrifugadas ou filtradas, sendo a fase líquida resultante analisada para detecção de nitratos. Os extractos líquidos livres de partículas sólidas podem ser armazenados antes de analisados, devendo ser mantidos a $20 \pm 5^\circ\text{C}$ negativos até um máximo de seis meses.

2. DADOS

2.1. TRATAMENTO DE RESULTADOS

Nos ensaios efectuados com produtos químicos agrícolas, regista-se a quantidade de nitratos formada em cada repetição de cada amostra de solo e os valores médios do conjunto de repetições devem ser apresentados numa tabela. As taxas de transformação de azoto devem ser analisadas usando métodos estatísticos usuais e adequados (por exemplo, Teste-F, nível de significância de 5 %). As quantidades de nitratos formados expressam-se em mg nitrato/kg solo (peso seco)/dia. A taxa de formação de nitratos em cada tratamento é comparada com a da respectiva amostra de controlo, calculando-se o desvio, em percentagem, da amostra de teste relativamente ao controlo.

Nos ensaios efectuados com produtos químicos não agrícolas, determina-se a quantidade de nitratos formados em cada repetição e traça-se uma curva de dose-resposta para estimar os valores de CE_x . As quantidades de nitratos — isto é, mg nitrato/kg solo (peso seco) — obtidas para as amostras tratadas, após 28 dias são comparadas com as quantidades obtidas para as amostras de controlo. A partir destes resultados, calcula-se a percentagem de inibição para cada concentração de ensaio. As percentagens obtidas são representadas num gráfico em função da concentração e, usando procedimentos estatísticos, determinam-se os valores de CE_x . Os limites de confiança ($p = 0,95$) para os valores de CE_x calculados são igualmente determinados usando métodos-padrão (10) (11) (12).

No caso de conterem quantidades elevadas de azoto, as substâncias de ensaio podem contribuir para as quantidades de nitratos formadas durante o ensaio. Por este motivo, em ensaios com elevadas concentrações dessas substâncias (por exemplo, compostos químicos que se prevê que venham a ser usados em aplicações repetidas), devem ser incluídas amostras de controlo adequadas (isto é, uma mistura de solo com a substância de ensaio, sem a farinha vegetal). Os dados dessas amostras de controlo devem ser tidos em conta nos cálculos de CE_x .

2.2. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Quando, na avaliação dos resultados dos ensaios com produtos químicos agrícolas, a diferença entre as taxas de formação de nitratos entre o tratamento com a menor concentração (isto é, correspondente à máxima concentração prevista para a situação real) e a respectiva amostra de controlo for igual ou inferior a 25 % em qualquer amostragem efectuada após o 28.º dia, o produto pode ser considerado como não tendo influência a longo prazo na transformação de azoto dos solos. Para ensaios envolvendo produtos químicos não agrícolas, os valores CE_{50} , CE_{25} ou CE_{10} são utilizados como indicadores.

3. RELATÓRIO

O relatório do ensaio deve incluir a seguinte informação:

Identificação completa do solo utilizado, incluindo:

- referência geográfica do local (latitude, longitude),
- informação sobre a caracterização histórica do local (isto é, coberto vegetal, tratamentos com produtos de protecção das culturas agrícolas, tratamentos com fertilizantes, contaminações acidentais, etc.),
- uso do solo (por exemplo, solo agrícola, floresta, etc.),
- profundidade de amostragem (cm),
- teor de areia/lama/argila (% peso seco),
- pH (em água),
- teor de carbono orgânico (% peso seco),
- teor de azoto (% peso seco),
- concentração inicial de nitratos (mg nitratos/kg peso seco),
- capacidade de permuta catiónica (mmol/kg),
- biomassa microbiana, em termos de percentagem de carbono orgânico total,
- referência dos métodos usados na determinação de cada parâmetro,
- toda a informação relacionada com a recolha e armazenamento das amostras de solo,
- pormenores sobre a pré-incubação do solo, quando existir.

Substância de ensaio:

- natureza física e, quando relevante, propriedades físico-químicas,
- dados de identificação química, sempre que relevantes, incluindo fórmula estrutural, pureza (teor do componente activo, em percentagem, no caso dos produtos de protecção das culturas agrícolas), teor de azoto.

Substrato:

- origem do substrato,
- composição (isto é, farinha de luzerna, farinha de luzerna-erva-relva),
- teor de carbono e azoto (% peso seco),
- diâmetro dos peneiras (mm).

Condições de ensaio:

- pormenores sobre a adição de substrato orgânico ao solo,
- número de concentrações do produto químico de ensaio que foram testadas e, quando adequado, justificação das concentrações de ensaio escolhidas,
- pormenores sobre a aplicação da substância de ensaio no solo,
- temperatura de incubação,
- teor de humidade do solo no início e durante o ensaio,
- método usado na incubação do solo (isto é, como amostra única ou como séries de subamostras individualizadas),
- número de repetições,
- tempos de amostragem,
- método usado para extracção de nitratos do solo;

Resultados:

- procedimento analítico e equipamento usado na análise de nitratos,
- tabelas de resultados, incluindo valores individuais e valores médios para as medições de nitratos,
- variação entre repetições nas amostras tratadas e nas amostras de controlo,
- explicação das correcções efectuadas nos cálculos, quando relevantes,
- a variação percentual da taxa de formação de nitratos em cada ponto de amostragem ou, quando adequado, o valor de CE_{50} com um limite de confiança de 95 %, outros valores de CE_x (isto é, CE_{25} ou CE_{10}), com os respectivos intervalos de confiança, e a representação gráfica da curva de dose-resposta,
- tratamento estatístico dos resultados,
- toda a informação e observações úteis para a interpretação dos resultados.

4. REFERÊNCIAS

- (1) EPPO (1994). Decision-Making Scheme for the Environmental Risk Assessment of Plant Protection Chemicals. Capítulo 7: Soil Microflora. EPPO Bulletin 24: 1-16, 1994.
- (2) BBA (1990). Effects on the Activity of the Soil Microflora. BBA Guidelines for the Official Testing of Plant Protection Products, VI, 1-1 (2.ª edição, 1990).
- (3) EPA (1987). Soil Microbial Community Toxicity Test. EPA 40 CFR Part 797.3700. Toxic Substances Control Act Test Guidelines; Proposed rule. 28 de Setembro de 1987.
- (4) SETAC-Europe (1995). Procedures for assessing the environmental fate and ecotoxicity of pesticides, Ed. M. R. Lynch, Pub. SETAC-Europa, Bruxelas.

-
- (5) ISO/DIS 14238 (1995). Soil Quality — Determination of Nitrogen Mineralisation and Nitrification in Soils and the Influence of Chemicals on these Processes. Comité Técnico ISO/TC 190/SC 4: *Soil Quality — Biological Methods*.
 - (6) OCDE (1995). Final Report of the OECD Workshop on Selection of Soils/Sediments, Belgirate, Itália, 18-20 de Janeiro de 1995.
 - (7) ISO 10381-6 (1993). Soil quality — Sampling. Guidance on the collection, handling and storage of soil for the assessment of aerobic microbial processes in the laboratory.
 - (8) ISO 14240-1 (1997). Soil quality — Determination of soil microbial biomass — Part 1: Substrate-induced respiration method.
 - (9) ISO 14240-2 (1997). Soil quality — Determination of soil microbial biomass — Part 2: Fumigation-extraction method.
 - (10) Litchfield, J. T. e Wilcoxon F. (1949). A simplified method of evaluating dose-effect experiments. *Jour. Pharmacol. and Exper. Ther.*, 96, 99-113.
 - (11) Finney, D. J. (1971). *Probit Analysis*. 3.^a edição, Cambridge, Londres e Nova Iorque.
 - (12) Finney, D. J. (1978). *Statistical Methods in Biological Assay*. Griffin, Weycombe, Reino Unido.

C.22. MICROORGANISMOS DO SOLO: ENSAIO DE TRANSFORMAÇÃO DE CARBONO**1. MÉTODO**

O presente método de ensaio baseia-se na publicação OCDE TG 217 (1999).

1.1. INTRODUÇÃO

O presente método de ensaio descreve um método laboratorial concebido para a investigação dos potenciais efeitos, a longo prazo, resultantes de uma única exposição a produtos de protecção de culturas agrícolas, e possivelmente outras substâncias químicas, na capacidade de transformação do carbono pelos microorganismos do solo. O ensaio baseia-se, fundamentalmente, nas recomendações da Organização Europeia e Mediterrânica para a Protecção das Plantas (1), embora tenham sido igualmente consideradas outras linhas de orientação, nomeadamente as fornecidas pelas seguintes organizações: Biologische Bundesanstalt da Alemanha (2); Agência de Protecção do Ambiente dos EUA (3) e SETAC (4). As orientações respeitantes ao número e tipo de solos a utilizar neste ensaio são as acordadas na reunião de trabalho da OCDE sobre Selecção de Solos/Sedimentos que decorreu em Belgirate, Itália, em 1995 (5). As recomendações respeitantes à recolha, manuseamento e armazenamento de amostras de solos baseiam-se nas normas ISO 10381-6 (6) e nas recomendações da reunião de Belgirate.

A determinação e avaliação das características de toxicidade de determinadas substâncias de ensaio poderão requerer a determinação dos seus efeitos sobre a actividade microbiana dos solos, por exemplo, quando se pretende conhecer os potenciais efeitos secundários de produtos utilizados na protecção de culturas agrícolas sobre a microflora do solo ou quando se prevê a exposição dos microorganismos do solo a outro tipo de substâncias químicas. O ensaio de transformação de carbono aplica-se na determinação dos efeitos destes produtos sobre a microflora do solo. No ensaio de produtos químicos agrícolas (por exemplo, produtos de protecção de culturas, fertilizantes, químicos florestais) devem realizar-se os ensaios de transformação de carbono e de transformação de azoto. Nos ensaios de produtos químicos não agrícolas, considera-se suficiente a realização do ensaio de transformação de azoto, ressaltando-se os casos em que os valores de CE_{50} obtidos no ensaio de transformação de azoto se encontrem dentro dos valores correspondentes aos inibidores de nitrificação comerciais (por exemplo, nitrapiirina), casos em que deve ser efectuado um ensaio de transformação de carbono no sentido de se obter informação adicional.

Os solos são misturas complexas e heterogéneas de elementos vivos e não vivos. Os microorganismos desempenham um papel importante na decomposição e transformação da matéria orgânica em solos férteis através de processos complexos em que diversas espécies contribuem de forma distinta para cada um dos factores que determinam a fertilidade do solo. Por este motivo, qualquer interferência a longo prazo nos processos bioquímicos envolvidos constitui uma potencial interferência nos ciclos nutricionais, podendo vir a afectar a fertilidade do solo. A transformação de carbono e de azoto ocorre em todos os solos férteis e, ainda que as comunidades de microorganismos responsáveis por estes processos divirjam de solo para solo, as vias e processos de transformação são essencialmente os mesmos.

O Método de Ensaio aqui descrito foi desenvolvido com o objectivo de determinar os efeitos adversos a longo prazo de uma substância, no processo de transformação de carbono em solos aeróbios de superfície. O ensaio é sensível a alterações na dimensão e actividade das comunidades microbianas responsáveis pela transformação do carbono, na medida em que sujeita essas comunidades simultaneamente a condições de stress químico e de privação de carbono. Utiliza-se um solo arenoso pobre em matéria orgânica. O solo é tratado com a substância de ensaio e incubado em condições tais que permitem um rápido metabolismo microbiano, e sob as quais as fontes de carbono acessíveis no solo se esgotam rapidamente. O processo provoca o empobrecimento de carbono, causando simultaneamente a morte das células microbianas e a indução do estado de letargia ou esporulação. Se o teste decorrer durante um período superior a 28 dias, o somatório destas reacções pode ser medido em amostras de controlo (solo não tratado) como uma perda progressiva da biomassa microbiana metabolicamente activa (7). Se a biomassa de um solo em stress por privação de carbono, nas condições de ensaio, é afectada pela presença de um produto químico, a recuperação do solo poderá não se verificar até ao mesmo nível que o solo de controlo. Por este motivo, as perturbações causadas pela substância de ensaio, em qualquer momento do ensaio, mantêm-se geralmente até ao final do mesmo.

Os ensaios que serviram de base ao presente Método de Ensaio foram inicialmente desenvolvidos para substâncias relativamente às quais é possível estimar a quantidade de substância que atinge o solo. É o caso, por exemplo, dos produtos utilizados para a protecção de culturas agrícolas, uma vez que é conhecida a sua taxa de aplicação nos campos. No caso de produtos químicos agrícolas, considera-se suficiente o ensaio de duas doses relevantes, relativamente à taxa de aplicação estimada ou prevista. Os produtos químicos agrícolas podem ser testados como ingredientes activos (i.a.) ou como formulações. A aplicação deste ensaio não se limita, no entanto, a produtos químicos agrícolas. Fazendo variar simultaneamente a quantidade de substância de ensaio aplicada no solo e o método de avaliação dos dados, o ensaio poderá ser igualmente utilizado em situações em que não é conhecida a quantidade de produto químico que atinge o solo. Deste modo, para produtos químicos não agrícolas, deverão determinar-se os efeitos de uma série de concentrações sobre a transformação de carbono e utilizar-se os dados obtidos nesses ensaios para construir uma curva de dose-resposta, a partir da qual se calculam os valores de CE_x , em que x corresponde à percentagem de efeito.

1.2. DEFINIÇÕES

Transformação de carbono: é a degradação da matéria orgânica por microorganismos até formar um produto final inorgânico, o dióxido de carbono.

EC_x (Concentração Efectiva): é a concentração da substância de ensaio no solo que resulta numa percentagem x de inibição da transformação de carbono em dióxido de carbono.

EC₅₀ (Concentração Média Efectiva): é a concentração da substância de ensaio no solo que resulta em 50 % de inibição da transformação de carbono em dióxido de carbono.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

Nenhuma.

1.4. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

O solo peneirado é tratado com a substância de ensaio ou deixado por tratar (controlo). No ensaio de produtos químicos agrícolas recomenda-se o teste de um mínimo de duas concentrações, que deverão ser escolhidas tendo em conta a maior concentração de substância que se prevê que venha a ser aplicada no campo. Após 0, 7, 14 e 28 dias de incubação, amostras do solo tratadas e de controlo são misturadas com glucose e a taxa de respiração induzida pela glucose é medida durante 12 horas consecutivas. As taxas de respiração são expressas em termos de dióxido de carbono libertado (mg dióxido de carbono/kg solo seco/h) ou de oxigénio consumido (mg oxigénio/kg solo/h). A taxa média de respiração nas amostras tratadas é comparada com a das respectivas amostras de controlo e calcula-se a percentagem de desvio das amostras tratadas relativamente às de controlo. Todos os ensaios têm uma duração mínima de 28 dias. Se ao 28.º dia as diferenças entre as amostras tratadas e as amostras não tratadas forem iguais ou superiores a 25 %, devem continuar a efectuar-se medições, em intervalos de 14 dias, até ao limite de 100 dias. Nos ensaios de produtos químicos não agrícolas, adiciona-se uma série de concentrações da substância de ensaio a amostras de solo e medem-se as taxas de respiração induzida por glucose (isto é, a média das quantidades de dióxido de carbono formado ou de oxigénio consumido) após 28 dias. Os resultados dos ensaios com múltiplas concentrações são analisados através de um modelo de regressão, com base no qual se calculam os valores de EC_x (isto é: EC₅₀, EC₂₅ ou EC₁₀). Ver definições.

1.5. VALIDADE DO ENSAIO

As análises dos resultados dos ensaios com produtos químicos agrícolas baseiam-se em diferenças relativamente pequenas (isto é, com um valor médio de ± 25 %) entre as quantidades de dióxido de carbono libertado ou de oxigénio consumido nas (ou pelas) amostras de solo tratadas e nas (ou pelas) amostras de controlo. Por este motivo, e uma vez que grandes variações entre as amostras de controlo podem conduzir a resultados falsos, a variação entre repetições das amostras de controlo deve ser inferior a ± 15 %.

1.6. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.6.1. Equipamento

Os recipientes utilizados durante o ensaio devem ser de materiais quimicamente inertes e ter uma capacidade adequada ao método usado na incubação dos solos, isto é, a granel ou numa série de amostras de solo individualizadas (ver secção 1.7.1.2). Devem tomar-se precauções no sentido de minimizar as perdas de água e permitir trocas gasosas durante o ensaio (por exemplo, os recipientes de ensaio podem ser cobertos com folhas de polietileno perfuradas). Para o ensaio de substâncias voláteis, devem ser usados recipientes seláveis e estanques com dimensões que permitam que aproximadamente um quarto do seu volume seja ocupado pela amostra de solo.

Para a determinação da taxa de respiração induzida pela glucose, são necessários sistemas de incubação e instrumentos para medir a produção de dióxido de carbono ou o consumo de oxigénio. Na literatura encontram-se exemplos destes sistemas e instrumentos (8) (9) (10) (11).

1.6.2. Selecção e número de solos

No presente ensaio utiliza-se um único solo, cujas características recomendadas são as seguintes:

- teor de areia: não inferior a 50 % e não superior a 75 %;
- pH: 5,5 a 7,5;
- teor de carbono orgânico: 0,5 a 1,5 %;
- a biomassa microbiana deve ser medida (12)(13) e o seu teor de carbono deve corresponder, no mínimo, a 1 % do carbono orgânico total do solo.

Na maioria dos casos, um solo com estas características representa a situação menos favorável, uma vez que nestas condições a adsorção da substância química de ensaio é mínima e a sua disponibilidade para a microflora é máxima. Por este motivo, a realização de ensaios com outros solos é geralmente desnecessária. Contudo, em determinadas circunstâncias, por exemplo, quando se prevê que a substância de ensaio venha a ser principalmente utilizada em solos específicos, tais como solos florestais ácidos, ou para produtos químicos com carga electrostática, poderá ser necessário utilizar um outro tipo de solo.

1.6.3. **Recolha e armazenamento das amostras de solo**

1.6.3.1. *Recolha*

Deve existir, e estar disponível, informação pormenorizada sobre a história do local donde foram recolhidas as amostras de solo para o ensaio. A informação necessária inclui a localização exacta, o coberto vegetal, as datas dos tratamentos com produtos utilizados para a protecção de culturas agrícolas, dos tratamentos com fertilizantes orgânicos e inorgânicos, das aplicações de materiais biológicos ou de contaminações acidentais. Deverá ser escolhido, para a recolha de solo, um local que permita o seu uso a longo prazo. Consideram-se locais adequados: as pastagens permanentes, os campos com culturas anuais de cereais (à excepção de milho) ou os campos densamente semeados para produção de adubo verde. No local escolhido para a amostragem não devem ter sido aplicados produtos de protecção de culturas agrícolas, pelo menos, durante o último ano, nem nenhum fertilizante orgânico, pelo menos, nos últimos seis meses. O uso de fertilizantes minerais apenas poderá ser aceite quando em concordância com as necessidades das culturas agrícolas e, nesse caso, a recolha de amostras de solo não deverá ser efectuada antes de passados três meses após a aplicação do fertilizante. Deve ser evitado o uso de solos tratados com fertilizantes que tenham efeitos biocidas conhecidos (por exemplo, cianamida de cálcio).

Deve ser evitada a recolha de amostras durante, ou imediatamente após, períodos longos (superiores a 30 dias) de seca ou de exploração de águas. Em solos lavrados, as amostras devem ser recolhidas a uma profundidade de 0 a 20 cm. Nas pastagens ou outros solos que não são lavrados durante períodos longos (pelo menos, uma época de cultivo), a profundidade máxima de amostragem pode ser ligeiramente superior a 20 cm (por exemplo, até 25 cm). As amostras de solo devem ser transportadas em recipientes adequados e em condições de temperatura que garantam que as propriedades iniciais do solo não são alteradas de forma significativa.

1.6.3.2. *Armazenamento*

Sempre que possível, é preferível a utilização de amostras de solos recolhidas na altura. Nos casos em que o armazenamento em laboratório não possa ser evitado, os solos devem ser armazenados no escuro, a uma temperatura de $4 \pm 2^\circ\text{C}$ e por um período máximo de três meses. Durante o armazenamento dos solos, devem ser asseguradas condições aeróbias. Se os solos forem recolhidos em zonas onde permanecem gelados por períodos iguais ou superiores a três meses por ano, poderá ser considerada a hipótese do seu armazenamento durante seis meses a uma temperatura de 18°C negativos. A biomassa microbiana de solos armazenados é medida antes de cada experiência e o teor de carbono na biomassa não deverá ser inferior a 1 % do teor total de carbono orgânico no solo (ver secção 1.6.2).

1.6.4. **Manuseamento e preparação do solo para o ensaio**

1.6.4.1. *Pré-incubação*

Se o solo esteve armazenado (ver secção 1.6.3.2), recomenda-se um período de pré-incubação de 2 a 28 dias. A temperatura e a humidade do solo durante a pré-incubação e o ensaio devem ser idênticas às utilizadas durante o ensaio (ver secções 1.6.4.2 e 1.7.1.3).

1.6.4.2. *Características físico-químicas*

Os objectos de grandes dimensões (por exemplo, pedras, pedaços de plantas, etc.) são removidos manualmente do solo e a amostra é peneirada húmida, evitando a dessecação excessiva, de forma a reduzir as partículas a uma dimensão máxima de 2 mm. O teor de humidade da amostra de solo deve ser ajustado com água destilada ou desionizada para um valor entre 40 % e 60 % da sua capacidade máxima de retenção de água.

1.6.5. **Preparação da substância de ensaio para aplicação no solo**

A aplicação da substância de ensaio no solo envolve, geralmente, a utilização de um excipiente (matriz de transporte), que pode ser água (para substâncias hidrossolúveis) ou um sólido inerte, como, por exemplo, areia fina de quartzo (tamanho de partículas: 0,1 a 0,5 mm). A utilização de outros excipientes líquidos (por exemplo, solventes orgânicos, como acetona, clorofórmio) deve ser evitada devido à possibilidade de virem a afectar a microflora. Nos casos em que se use areia como excipiente, esta pode ser coberta com a substância de ensaio em solução ou suspensão num solvente adequado. Nesses casos, o solvente deve ser removido por evaporação antes da mistura com o solo. De modo a otimizar a distribuição da substância de ensaio no solo, recomenda-se uma relação de 10 g de areia por quilograma de solo (peso seco). As amostras de controlo são tratadas com uma quantidade equivalente de água ou de areia de quartzo (sem adição de substância de ensaio).

Nos ensaios de produtos químicos voláteis importa, tanto quanto possível, evitar perdas durante o tratamento e procurar assegurar a homogeneidade da distribuição dos produtos no solo (por exemplo, as substâncias de ensaio devem ser injectadas em diferentes locais do solo).

1.6.6. **Concentrações de ensaio**

Nos ensaios de produtos utilizados para protecção de culturas agrícolas, ou outros produtos químicos cujas concentrações ambientais possam ser previstas, devem ser usadas, pelo menos, duas concentrações. A concentração inferior deve reflectir, no mínimo, a quantidade máxima que se espera que, na prática, venha a atingir o solo, enquanto a concentração mais elevada deve ser um múltiplo da concentração inferior. As concentrações da substância de ensaio adicionada ao solo são calculadas assumindo uma incorporação uniforme até uma profundidade de 5 cm e uma densidade aparente do solo de 1,5. Para produtos químicos agrícolas que são aplicados directamente no solo ou para compostos químicos cuja quantidade que atinge o solo pode ser prevista, as concentrações recomendadas são a máxima concentração prevista no ambiente («predicted environmental concentration», PEC) e cinco vezes o valor dessa concentração. Nos casos em que se prevê que as substâncias sejam aplicadas diversas vezes no solo durante uma mesma estação, devem ser efectuados ensaios a concentrações correspondentes à multiplicação da PEC pelo número máximo de aplicações previsto. Contudo, a concentração máxima de ensaio não deve exceder dez vezes a taxa máxima para uma única aplicação.

Nos ensaios de produtos químicos não agrícolas deve ser usada uma série geométrica de, pelo menos, cinco concentrações. As concentrações usadas devem cobrir a gama necessária para os cálculos dos valores de CE_x .

1.7. **PROCEDIMENTO DO ENSAIO**

1.7.1. **Condições de Exposição**

1.7.1.1. *Tratamento e Controlo*

Nos ensaios de produtos químicos agrícolas, o solo é dividido em três porções de igual peso. Duas porções são misturadas com o excipiente contendo o produto e a terceira é misturada apenas com o excipiente (amostra de controlo). Recomenda-se um mínimo de três repetições para ambos os solos, tratado e de controlo. Nos ensaios de produtos químicos não agrícolas, o solo é dividido em seis porções de igual peso. Cinco das amostras são misturadas com o excipiente contendo o produto e a sexta é misturada com o excipiente não activado. Recomendam-se três repetições para ambos os solos, tratado e de controlo. Devem ser tomadas precauções de modo a assegurar uma distribuição homogénea da substância de ensaio nas amostras de solo tratadas. Durante a mistura deve evitar-se a aglomeração ou compactação do solo.

1.7.1.2. *Incubação das amostras de solo*

A incubação das amostras de solo pode ser realizada de duas formas: usando cada um dos solos, tratado e de controlo, como amostras únicas, ou dividindo-os numa série de subamostras individualizadas e de igual peso. Contudo, no caso de substâncias voláteis, os ensaios devem ser realizados obrigatoriamente na forma de séries de subamostras individuais. Quando os solos são incubados como amostras únicas, preparam-se grandes quantidades de cada solo, tratado e de controlo, e vão-se retirando subamostras para análise, conforme necessário, ao longo do ensaio. A quantidade de solo inicialmente preparada para cada tratamento e para cada controlo depende do tamanho das subamostras a retirar durante o ensaio, do número de repetições a realizar e do número máximo de tempos de amostragem previsto. Os solos incubados como amostras únicas devem ser misturados vigorosamente antes de cada subamostragem. Quando os solos são incubados como uma série de amostras individualizadas, cada solo tratado e de controlo é inicialmente dividido no número de subamostras pretendido e estas utilizadas conforme necessário. Nas experiências em que se prevêem mais de dois tempos de amostragem, devem preparar-se subamostras em número suficiente para todas as repetições de todas as amostragens. Pelo menos, três repetições do solo de ensaio devem ser incubadas em condições aeróbias (ver secção 1.7.1.1). Os recipientes utilizados durante todos os testes devem possuir um volume livre suficiente para impedir o desenvolvimento de condições anaeróbias. Nos casos em que as substâncias de ensaio são voláteis, o ensaio só deve ser realizado com séries de subamostras individualizadas.

1.7.1.3. *Condições e duração dos ensaios*

O ensaio é realizado em câmara escura à temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Durante o ensaio, o teor de humidade das amostras de solo deve ser mantido entre 40 % e 60 % da capacidade máxima de retenção de água do solo (ver secção 1.6.4.2), com uma variação máxima de ± 5 %. Sempre que necessário, pode adicionar-se água destilada ou desionizada.

A duração mínima do ensaio é de 28 dias. Nos ensaios de produtos químicos agrícolas, comparam-se as quantidades de dióxido de carbono libertado ou de oxigénio consumido entre as amostras tratadas e de controlo. Se estes valores diferirem em mais de 25 % após o 28.º dia, o ensaio continua até que essa diferença atinja um valor igual ou inferior a 25 % ou até ao 100.º dia. Para compostos químicos não agrícolas, o ensaio tem a duração de 28 dias. No 28.º dia, determinam-se as quantidades de dióxido de carbono libertado ou de oxigénio consumido nas amostras de solo tratadas e de controlo e calculam-se os valores de CE_x .

1.7.2. Amostragem e análise dos solos

1.7.2.1. Calendário de amostragem dos solos

Nos ensaios de produtos químicos agrícolas, analisam-se as taxas de respiração induzida pela glucose através das quantidades de dióxido de carbono libertado ou de oxigénio consumido nas amostras de solo nos dias 0, 7, 14 e 28. Caso seja necessário prolongar o ensaio, após o 28.º dia devem efectuar-se medições com intervalos de 14 dias.

Nos ensaios de produtos químicos não agrícolas, testa-se um mínimo de cinco concentrações de ensaio e a análise da taxa de respiração induzida pela glucose efectua-se no início do ensaio (dia 0) e no fim do período de exposição (28.º dia). Nos casos em que tal se revele necessário, podem realizar-se medições intermédias — por exemplo ao 7.º dia. Os dados obtidos ao 28.º dia são utilizados para determinar o valor de CE_x para o produto químico. Se desejado, os dados obtidos para a amostra de controlo no dia 0 podem ser utilizados para indicar as quantidades iniciais de biomassa microbiana metabolicamente activa no solo (12).

1.7.2.2. Medida das taxas de respiração induzida por glucose

Para cada repetição de cada amostra de solo, tratada e de controlo, determina-se a taxa de respiração induzida por glucose em cada tempo de amostragem. As amostras de solo são misturadas com uma quantidade de glucose suficiente para provocar uma resposta máxima de respiração imediata. A quantidade de glucose necessária para provocar a resposta máxima de respiração de um dado solo pode ser determinada através de um teste preliminar usando uma série de concentrações de glucose (14). Contudo, para solos arenosos com 0,5 a 1,5 % de carbono orgânico, 2 000 a 4 000 mg de glucose por kg de solo (peso seco) são, em geral, suficientes. A glucose pode ser pulverizada com areia limpa de quartzo [10 g areia/kg de solo (peso seco)] e misturada com o solo de forma homogénea.

As amostras de solo adicionadas de glucose são incubadas num aparelho adequado para a determinação de taxas de respiração, em regime contínuo, de hora a hora ou de duas em duas horas (ver secção 1.6.1) a $20 \pm 2^\circ\text{C}$. O dióxido de carbono libertado, ou o oxigénio consumido, é medido durante 12 horas consecutivas e as medições devem iniciar-se logo que possível, isto é, 1 ou 2 horas após o suplemento de glucose. A partir dos dados obtidos, determinam-se as quantidades totais de dióxido de carbono libertado, ou de oxigénio consumido, durante as 12 horas, assim como as taxas médias de respiração.

2. DADOS

2.1. TRATAMENTO DE RESULTADOS

Nos ensaios efectuados com produtos químicos agrícolas, regista-se a quantidade de dióxido de carbono libertado, ou de oxigénio consumido, em cada repetição de cada amostra de solo e os valores médios do conjunto de repetições devem ser apresentados numa tabela. Os resultados devem ser avaliados usando métodos estatísticos usuais e adequados (por exemplo, Teste-F, nível de significância de 5 %). As taxas de respiração induzida pela glucose expressam-se em mg dióxido de carbono/kg solo (peso seco)/h ou mg oxigénio/kg solo (peso seco)/h. A taxa média de formação de dióxido de carbono, ou a taxa média de consumo de oxigénio, em cada tratamento é comparada com a da amostra de controlo, calculando-se o desvio, em percentagem, da amostra de teste relativamente ao controlo.

Nos ensaios efectuados com produtos químicos não agrícolas, determinam-se as quantidades de dióxido de carbono libertado, ou de oxigénio consumido, em cada repetição e traça-se uma curva de dose-resposta para estimar os valores de CE_x . As taxas de respiração induzida pela glucose [isto é, mg dióxido de carbono/kg solo (peso seco)/h ou mg oxigénio/kg solo (peso seco)/h] obtidas para as amostras tratadas após 28 dias são comparadas com as obtidas para as amostras de controlo. A partir destes resultados, calculam-se os valores percentuais de inibição para cada concentração de ensaio. As percentagens obtidas são representadas num gráfico em função da concentração e, usando procedimentos estatísticos, determinam-se os valores de CE_x . Os limites de confiança ($p = 0,95$) para os valores de CE_x calculados são igualmente determinados usando métodos-padrão (15) (16) (17).

2.2. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Quando, na avaliação dos resultados dos ensaios com produtos químicos agrícolas, a diferença entre as taxas de respiração entre o tratamento com a menor concentração (isto é, correspondente à máxima concentração prevista para a situação real) e a respectiva amostra de controlo for igual ou inferior a 25 % em qualquer amostragem efectuada após o 28.º dia, o produto pode ser considerado como não tendo influência a longo prazo na transformação de carbono dos solos. Para ensaios envolvendo produtos químicos não agrícolas, os valores CE_{50} , CE_{25} ou CE_{10} são utilizados como indicadores.

3. RELATÓRIO

RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deve incluir a seguinte informação:

Identificação completa do solo utilizado, incluindo:

- referência geográfica do local (latitude, longitude),
- informação sobre a caracterização histórica do local (isto é, coberto vegetal, tratamentos com produtos de protecção das culturas agrícolas, tratamentos com fertilizantes, contaminações acidentais, etc.),
- uso do solo (por exemplo, solo agrícola, floresta, etc.),
- profundidade de amostragem (cm),
- teor de areia/lama/argila (% peso seco),
- pH (em água),
- teor de carbono orgânico (% peso seco),
- teor de azoto (% peso seco),
- capacidade de permuta cationica (mmol/kg),
- biomassa microbiana inicial, em termos de percentagem de carbono orgânico total,
- referência dos métodos usados na determinação de cada parâmetro,
- toda a informação relacionada com a recolha e armazenamento das amostras de solo,
- pormenores sobre a pré-incubação do solo, quando exista.

Substância de ensaio:

- natureza física e, quando relevante, propriedades físico-químicas,
- dados de identificação química, sempre que relevantes, incluindo fórmula estrutural, pureza (teor do componente activo, em percentagem, no caso dos produtos de protecção de culturas agrícolas), teor de azoto.

Condições de ensaio:

- pormenores sobre a correcção do solo com substrato orgânico,
- número de concentrações do produto químico de ensaio que foram testadas e, quando adequado, justificação das concentrações de ensaio escolhidas,
- pormenores sobre a aplicação da substância de ensaio no solo,
- temperatura de incubação,
- teor de humidade do solo no início e durante o ensaio,

- método usado na incubação do solo (isto é, como amostra única ou como séries de subamostras individualizadas),
- número de repetições,
- tempos de amostragem;

Resultados:

- método e equipamento usado para a medição das taxas de respiração,
- tabelas de resultados, incluindo valores individuais e valores médios para as quantidades de dióxido de carbono ou oxigénio,
- variação entre repetições nas amostras tratadas e nas amostras de controlo,
- explicação das correcções efectuadas nos cálculos, quando relevantes,
- a variação percentual da taxa de respiração induzida pela glucose em cada ponto de amostragem ou, quando adequado, o valor de CE_{50} com um limite de confiança de 95 %, ou outros valores de CE_x (isto é, CE_{25} ou CE_{10}), com os respectivos intervalos de confiança, e a representação gráfica da curva de dose-resposta,
- tratamento estatístico dos resultados, quando apropriado,
- toda a informação e observações úteis para a interpretação dos resultados.

4. REFERÊNCIAS

- (1) EPPO (1994). Decision-Making Scheme for the Environmental Risk Assessment of Plant Protection Chemicals. Chapter 7: Soil Microflora. EPPO Bulletin 24: 1-16, 1994.
- (2) BBA (1990). Effects on the Activity of the Soil Microflora. BBA Guidelines for the Official Testing of Plant Protection Products, VI, 1-1 (2.^a edição, 1990).
- (3) EPA (1987). Soil Microbial Community Toxicity Test. EPA 40 CFR Part 797.3700. Toxic Substances Control Act Test Guidelines; Proposed rule. 28 de Setembro de 1987.
- (4) SETAC-Europe (1995). Procedures for assessing the environmental fate and ecotoxicity of pesticides, Ed. M. R. Lynch, Pub. SETAC-Europa, Bruxelas.
- (5) OECD (1995). Final Report of the OECD Workshop on Selection of Soils/Sediments, Belgirate, Itália, 18-20 de Janeiro de 1995.
- (6) ISO 10381-6 (1993). Soil quality — Sampling. Guidance on the collection, handling and storage of soil for the assessment of aerobic microbial processes in the laboratory.
- (7) Anderson, J. P. E. (1987). Handling and Storage of Soils for Pesticide Experiments, in «Pesticide Effects on Soil Microflora». Eds. L. Somerville and M. P. Greaves, Capítulo 3: 45-60.
- (8) Anderson, J. P. E. (1982). Soil Respiration, in «Methods of Soil Analysis — Part 2: Chemical and Microbiological Properties». Agronomy Monograph N° 9. Eds. A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney. 41:831- 871.
- (9) ISO 11266-1. (1993). Soil Quality — Guidance on Laboratory Tests for Biodegradation in Soil: Part 1. Aerobic Conditions.
- (10) ISO 14239 (1997E). Soil Quality — Laboratory incubation systems for measuring the mineralization of organic chemicals in soil under aerobic conditions.

- (11) Heinemeye, O., Insam, H., Kaiser, E. A, e Walenzik, G. (1989). Soil microbial biomass and respiration measurements; an automated technique based on infrared gas analyses. *Plant and Soil*, 116: 77-81.
- (12) ISO 14240-1 (1997). Soil quality — Determination of soil microbial biomass — Part 1: Substrate-induced respiration method.
- (13) ISO 14240-2 (1997). Soil quality — Determination of soil microbial biomass — Part 2: Fumigation-extraction method.
- (14) Malkomes, H.-P. (1986). Einfluß von Glukosemenge auf die Reaktion der Kurzzeit-Atmung im Boden Gegenüber Pflanzenschutzmitteln, Dargestellt am Beispiel eines Herbizide. (Influence of the Amount of Glucose Added to the Soil on the Effect of Pesticides in Short-Term Respiration, using a Herbicide as an Example). *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., Braunschweig*, 38: 113-120.
- (15) Litchfield, J. T. e Wilcoxon, F. (1949). A simplified method of evaluating dose-effect experiments. *Jour. Pharmacol. and Exper. Ther.*, 96, 99-113.
- (16) Finney, D. J. (1971). *Probit Analysis*. 3.^a edição, Cambridge, Londres e Nova Iorque.
- (17) Finney D. J. (1978). *Statistical Methods in Biological Assay*. Griffin, Weycombe, Reino Unido.

C.23. TRANSFORMAÇÕES AERÓBIAS E ANAERÓBIAS NO SOLO

1. MÉTODO

O presente método baseia-se na publicação OECD TG 307 (2002).

1.1. INTRODUÇÃO

O presente Método de Ensaio baseia-se nas orientações existentes (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9). O método descrito no presente Método de Ensaio foi concebido para avaliar as transformações aeróbias e anaeróbias de produtos químicos no solo. As experiências a realizar têm como objectivo a determinação (i) da taxa de transformação da substância de ensaio e (ii) da natureza e taxas de formação e degradação de produtos de transformação a que as plantas e organismos do solo possam ser expostos. Os estudos descritos neste Método de Ensaio são requeridos quer para produtos químicos directamente aplicados no solo quer para substâncias que o possam vir a atingir. Os resultados dos presentes estudos laboratoriais poderão igualmente vir a ser utilizados para o desenvolvimento de protocolos de amostragem e análise em áreas de estudo relacionadas.

Para a avaliação das vias de transformação, é geralmente suficiente a realização de estudos aeróbios e anaeróbios com um único tipo de solo (8) (10) (11). Pelo contrário, a determinação das taxas de transformação deverá basear-se em análises efectuadas em, pelo menos, mais três solos diferentes (8) (10).

O número e tipos de solos que devem ser utilizados no presente ensaio foram acordados numa reunião de trabalho da OCDE sobre selecção de solos e sedimentos, que decorreu em Belgirate, Itália, em 1995 (10). Os tipos de solos a ensaiar devem ser representativos das condições ambientais onde a substância de ensaio virá a ser utilizada ou libertada no ambiente. Por exemplo, os produtos químicos que podem vir a ser libertados em climas subtropicais a tropicais devem ser ensaiados com Ferrasoles ou Nitosoles (sistema FAO). Da referida reunião saíram igualmente recomendações relativas à recolha, manipulação e armazenamento das amostras de solos, tendo como base a Orientação ISO (15). No presente método considera-se igualmente a utilização de solos de arrozais *paddy*.

1.2. DEFINIÇÕES

Substância de ensaio: Qualquer substância, quer se trate do composto inicial ou de produtos de transformação relevantes.

Produtos de transformação: Todas as substâncias resultantes de reacções de transformação bióticas ou abióticas da substância de ensaio, incluindo CO₂ e produtos presentes nos resíduos ligados.

Resíduos ligados: Os «resíduos ligados» representam compostos presentes no solo, planta ou animal, que, após extracção, persistam na matriz, quer na forma da substância inicial quer como um dos seus metabolitos/ produtos de transformação. O método de extracção não poderá alterar substancialmente nem os próprios compostos nem a estrutura da matriz. A natureza da ligação poderá ser parcialmente determinada utilizando métodos extractivos que alterem a matriz e através de técnicas analíticas sofisticadas. Têm sido identificadas deste modo, por exemplo, ligações do tipo covalente, iónico e de absorção/adsorção, assim como encapsulação. De um modo geral, a formação de resíduos ligados reduz significativamente a bioacessibilidade e a biodisponibilidade das substâncias (12) [adaptado de IUPAC 1984 (13)].

Transformação aeróbia: Reacções que ocorrem na presença de oxigénio molecular (14).

Transformação anaeróbia: Reacções que ocorrem na ausência de oxigénio molecular (14).

Solo: Mistura de componentes abióticos (constituintes químicos minerais e orgânicos, em que os últimos incluem compostos com elevado conteúdo de carbono e azoto e de peso molecular elevado) e bióticos (pequenos organismos vivos, maioritariamente microorganismos). O solo pode ser manuseado em dois estados distintos:

- (a) não perturbado, tal como se desenvolveu ao longo do tempo, em camadas características de vários tipos de solos;
- (b) perturbado, tal como é normalmente encontrado em campos aráveis ou como se apresenta quando a recolha de amostras para utilização no presente método de ensaio é feita por escavação (14).

Mineralização: Degradação completa de um composto orgânico em CO₂ e H₂O, em condições aeróbias, ou em CH₄, CO₂ e H₂O em condições anaeróbias. No contexto do presente método de ensaio, quando se utiliza um composto marcado com ¹⁴C, o termo mineralização refere-se à sua degradação extensa, envolvendo a oxidação de um átomo de carbono marcado e a libertação da quantidade correspondente de ¹⁴CO₂ (14).

Semivida: $t_{0,5}$, é o tempo necessário para a transformação de 50 % da substância de ensaio, nos casos em que a transformação pode ser descrita por uma cinética de primeira ordem. A semivida da substância é independente da sua concentração.

DT₅₀ (Tempo de Desaparecimento 50): Tempo necessário para reduzir a concentração da substância de ensaio em 50 %; nos casos em que a transformação não segue uma cinética de primeira ordem, o valor de DT₅₀ é diferente de $t_{0,5}$ (semivida).

DT₇₅ (Tempo de Desaparecimento 75): Tempo necessário para reduzir a concentração da substância de ensaio em 75 %.

DT₉₀ (Tempo de Desaparecimento 90): Tempo necessário para reduzir a concentração da substância de ensaio em 90 %.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

A caracterização e/ou identificação dos produtos de transformação através de métodos espectroscópicos e cromatográficos deverá envolver a utilização de substâncias de referência.

1.4. APLICABILIDADE DO ENSAIO

O método é aplicável a todas as substâncias químicas (não marcadas ou marcadas radioactivamente) para as quais se encontre disponível um método analítico suficientemente sensível e preciso. É aplicável a compostos ligeiramente voláteis, não voláteis, solúveis ou insolúveis em água. O ensaio não deve ser aplicado a compostos químicos muito voláteis a partir do solo (por exemplo, fumigantes, solventes orgânicos) já que estes, nas condições experimentais descritas, não podem ser mantidos no solo.

1.5. INFORMAÇÃO SOBRE A SUBSTÂNCIA DE ENSAIO

Enquanto para a medição da taxa de transformação poderão ser utilizadas substâncias de ensaio marcadas ou não marcadas, para o estudo da via de transformação e para o estabelecimento do balanço de massa é necessária a utilização de compostos marcados. A marcação recomendada é com ^{14}C , embora a utilização de outros isótopos, tais como ^{13}C , ^{15}N , ^3H e ^{32}P , possa igualmente revelar-se útil. A marcação deve ser feita, tanto quanto possível, na(s) zona(s) mais estável(is) da molécula (¹). A pureza da substância de ensaio deve ser de, pelo menos, 95 %.

Antes de efectuar um ensaio sobre transformação aeróbia ou anaeróbia no solo, deve estar disponível a seguinte informação sobre a substância de ensaio:

- (a) solubilidade em água (Método A.6)
- (b) solubilidade em solventes orgânicos;
- (c) pressão de vapor (Método A.4) e constante da lei de Henry;
- (d) coeficiente de partição n-octanol/água (Método A.8);
- (e) estabilidade química no escuro (hidrólise) (Método C.7);
- (f) pK_a se a molécula puder sofrer protonação ou desprotonação [Norma de Ensaio 112 da OCDE] (16).

Poderão ser úteis outras informações como, por exemplo, a existência de dados relativos à toxicidade da substância de ensaio para os microorganismos do solo [Métodos de Ensaio C.21 e C.22] (16).

Deverão estar disponíveis métodos analíticos (incluindo métodos de extracção e erradicação) que permitam a quantificação e identificação tanto da substância de ensaio como dos seus produtos de transformação.

(¹) Por exemplo, se a estrutura da substância de ensaio inclui um anel, este deverá ser marcado; no caso de a substância de ensaio possuir dois ou mais anéis, poderá ser necessário efectuar estudos independentes de modo a avaliar o destino de cada um dos anéis marcados e obter informação adequada sobre a formação dos produtos de transformação.

1.6. PRINCIPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

As amostras de solo são tratadas com a substância de ensaio e incubadas no escuro em balões biométricos ou em sistemas de fluxo em condições laboratoriais controladas (com temperatura e humidade do solo constantes). A intervalos de tempo adequados, extraem-se amostras de solo que são analisadas relativamente à substância inicial e aos seus produtos de transformação. Os produtos voláteis são igualmente recolhidos para análise utilizando dispositivos de absorção adequados. A utilização de material marcado com ^{14}C permite a determinação das várias taxas de mineralização da substância de ensaio através da recolha do $^{14}\text{CO}_2$ libertado e o estabelecimento de um balanço de massa que inclui a formação de resíduos ligados ao solo.

1.7. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

1.7.1. Recuperação

A extracção e análise de amostras de solo, pelo menos em duplicado imediatamente após a adição da substância de ensaio, fornece uma primeira indicação relativa à repetitividade do método analítico e à uniformidade do procedimento de aplicação da substância de ensaio. Os valores de recuperação em fases mais adiantadas das experiências são obtidos através dos respectivos balanços de massa. Os valores de recuperação devem variar entre 90 % e 110 % no caso de produtos químicos marcados (8) e entre 70 % e 110 % no caso de produtos químicos não marcados (3).

1.7.2. Repetitividade e sensibilidade do método analítico

A repetitividade do método analítico (com excepção da eficiência de extracção inicial) na quantificação da substância de ensaio e dos produtos de transformação pode ser verificada pela análise em duplicado do mesmo extracto de solo, após incubação durante o tempo suficiente para que ocorra a formação de produtos de transformação.

O limite de detecção (LD) do método analítico, tanto para a substância de ensaio como para os produtos de transformação, deve corresponder, no mínimo, ao menor dos seguintes valores: $0,01 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo (como substância de ensaio) ou 1 % da dose aplicada. Deve ser igualmente especificado o limite de quantificação (LQ).

1.7.3. Precisão dos dados de transformação

A análise de regressão das concentrações da substância de ensaio em função do tempo fornece informação apropriada sobre a fiabilidade da curva de transformação e permite o cálculo dos limites de confiança para as semividas (no caso de cinética de pseudoprimeira ordem) ou os valores de DT_{50} e, se adequado, os valores de DT_{75} e de DT_{90} .

1.8. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO

1.8.1. Equipamento e reagentes químicos

Os sistemas de incubação consistem em sistemas estáticos fechados ou em sistemas de fluxo adequados (7)(17), dos quais se representam exemplos nas figuras 1 (aparelho adequado para a incubação de solos em sistema de fluxo) e 2 (balão biométrico). Ambos os tipos de sistemas de incubação apresentam vantagens e limitações (7) (17).

Para além do material corrente de laboratório, é necessário o seguinte:

- Instrumentos analíticos, tais como equipamento de GLC, HPLC, TLC, incluindo os sistemas de detecção apropriados para a análise de substâncias marcadas radioactivamente ou não marcadas ou o método de diluição inversa de isótopos;
- Instrumentos para fins de identificação (por exemplo, MS, GC-MS, HPLC-MS, NMR, etc.);
- Contador de cintilações;
- Câmara de combustão oxidante para combustão do material radioactivo;
- Centrífuga;
- Aparelhos de extracção (por exemplo, tubos de centrífuga para extracção a frio e aparelho de Soxhlet para extracção contínua em refluxo);
- Instrumentação para concentração de soluções e extractos (por exemplo, evaporador rotativo);

- Banho de água;
- Dispositivo para mistura mecânica (por exemplo, máquina de amassar, misturador rotativo).

Os reagentes químicos a utilizar incluem, por exemplo:

- NaOH, qualidade analítica, $2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$, ou outra base adequada (por exemplo, KOH, etanolamina);
- H_2SO_4 , qualidade analítica, $0,05 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$;
- Etilenoglicol, qualidade analítica;
- Materiais sólidos de adsorção, tais como cal de soda e pastilhas de poliuretano;
- Solventes orgânicos, qualidade analítica, tais como acetona, metanol, etc.;
- Líquido de cintilação.

1.8.2. Aplicação da substância de ensaio

Com vista à sua adição e distribuição no solo, a substância de ensaio pode ser dissolvida em água (desionizada ou destilada) ou, quando necessário, em quantidades mínimas de acetona ou de outros solventes orgânicos (6) em que a substância de ensaio seja suficientemente solúvel e estável. Neste caso, a quantidade do solvente seleccionado não deverá ter uma influência significativa na actividade microbiana do solo (ver secções 1.5 e 1.9.2-1.9.3). Deverá igualmente evitar-se a utilização de solventes que inibam a actividade microbiana, tais como clorofórmio, diclorometano e outros solventes halogenados.

A substância de ensaio pode também ser adicionada na forma sólida, por exemplo, misturada com areia de quartzo (6) ou com uma pequena subamostra do solo a ensaiar que tenha sido previamente seca ao ar e esterilizada. Neste caso, se a substância de ensaio foi adicionada utilizando um solvente, dever-se-á permitir a evaporação deste antes da adição da subamostra contendo a substância de ensaio à amostra original, não estéril, de solo.

No caso de produtos químicos de ocorrência comum, cuja via principal de entrada no solo é através de lamas de esgotos ou actividades agrícolas, a substância de ensaio deverá ser adicionada às lamas que são em seguida introduzidas na amostra de solo (ver secções 1.9.2 e 1.9.3).

Embora a utilização sistemática de produtos formulados não seja recomendada, em algumas situações, como por exemplo, no caso de substâncias de ensaio pouco solúveis, a utilização deste tipo de produtos pode constituir uma alternativa apropriada.

1.8.3. Solos

1.8.3.1. Selecção de solos

Para a determinação da via de transformação, poderá utilizar-se um solo representativo. Nestes casos, recomenda-se a escolha de um solo areno-limoso, franco-limoso, limoso ou limo-arenoso [de acordo com a classificação da FAO e da USDA (18)] com um pH entre 5,5- 8,0, um conteúdo de carbono orgânico entre 0,5- 2,5 % e uma biomassa microbiana de, pelo menos, 1 % do carbono orgânico total (10).

Para estudos de taxas de transformação, devem utilizar-se pelo menos mais três solos, que deverão ser representativos de uma gama de solos relevante e cujo teor em carbono orgânico, pH, argila e biomassa microbiana deverá variar (10).

Todos os solos deverão ser caracterizados, pelo menos, em relação à sua textura (% de areia, % de silte, % de argila) [de acordo com a classificação da FAO e da USDA (18)], pH, capacidade de troca catiónica, carbono orgânico, densidade aparente, características de retenção de água ⁽¹⁾ e biomassa microbiana (apenas no caso de estudos aeróbios); no entanto, a disponibilidade de outras informações relativas às propriedades do solo poderá ser útil para a interpretação dos resultados. Com vista à determinação das características do solo, podem ser utilizados os métodos recomendados nas referências (19)(20)(21)(22)(23). A biomassa microbiana deverá ser determinada pelo método da respiração induzida pelo substrato (SIR) (25)(26) ou por métodos alternativos (20).

⁽¹⁾ As características de retenção de água de um solo podem ser medidas como capacidade de campo, capacidade de retenção de água ou tensão de sucção de água (pF). Consultar o apêndice 1 para mais pormenores. No relatório deverá referir-se se as características de retenção de água e densidade aparente dos solos foram determinadas em amostras de campo não perturbadas ou em amostras perturbadas (processadas).

1.8.3.2. Recolha, manuseamento e armazenamento de solos

Deve estar disponível informação pormenorizada sobre a história do local de recolha do solo a ensaiar, que inclua: a localização exacta, o coberto vegetal, o eventual tratamento com produtos químicos, fertilizantes orgânicos e inorgânicos, a adição de matéria biológica ou outras contaminações. No caso de terem sido tratados com a substância de ensaio ou seus análogos estruturais nos quatro anos imediatamente anteriores, os solos não devem ser utilizados para estudos de transformação (10) (15),

A amostra de solo deverá ter sido recolhida recentemente (do horizonte A ou até 20 cm da camada superior) e o seu conteúdo de água deverá ser tal que facilite a crivagem. Para outros solos que não os provenientes de arrozais *paddy*, deve evitar-se a amostragem durante ou imediatamente após longos períodos (> 30 dias) de seca, gelo ou inundação (14). Na medida do possível, as amostras devem ser transportadas de modo a minimizar alterações no conteúdo de água do solo e devem ser mantidas no escuro, em condições de boa ventilação. Para este fim, é geralmente adequada a utilização de sacos de polietileno fechados frouxamente.

Após a recolha, o solo deverá ser processado tão depressa quanto possível. Após a remoção da vegetação, fauna macroscópica e pedras, o solo é passado através de um peneiro de 2 mm, que remove as pequenas pedras e restos da fauna e plantas. Antes da crivagem, devem evitar-se a secagem e o esmagamento extensivos do solo (15).

Nos casos em que a recolha das amostras é difícil durante o Inverno (solo congelado ou coberto de camadas de neve), a amostragem poderá ser feita a partir de um lote de solo armazenado numa estufa e coberto por vegetação (por exemplo, erva ou misturas de erva e trevo). Embora haja uma acentuada preferência por estudos efectuados com solos recolhidos na altura, nos casos em que o solo recolhido e processado tenha de ser armazenado antes do início do estudo, as condições de armazenamento devem ser adequadas e de curta duração (4 ± 2 °C durante três meses, no máximo) de modo a manter a actividade microbiana (¹). Nas referências (8) (10) (15) (26) (27) podem encontrar-se instruções pormenorizadas sobre a recolha, o manuseamento e o armazenamento de solos para utilização em experiências de biotransformação.

Antes da utilização do solo processado para o presente ensaio, este deve ser pré-incubado de modo a permitir a germinação e remoção das sementes e o restabelecimento do equilíbrio do metabolismo microbiano após a passagem de condições de amostragem ou armazenamento para condições de incubação. De modo a aproximar as condições de temperatura e humidade daquelas que serão utilizadas no ensaio, a pré-incubação durante um período de 2 a 28 dias é geralmente adequada (15). No total, os períodos de armazenamento e pré-incubação não devem exceder três meses.

1.9. PROCEDIMENTO DO ENSAIO

1.9.1. Condições do ensaio:

1.9.1.1. Temperatura de ensaio

Ao longo de todo o período do ensaio, os solos devem ser incubados no escuro e a uma temperatura constante e representativa das condições climáticas onde ocorrerá o uso ou libertação da substância. Relativamente a todas as substâncias de ensaio que possam vir a atingir o solo em climas temperados, a temperatura recomendada é de 20 ± 2 °C. A temperatura deve ser monitorizada.

No caso de produtos químicos aplicados ou libertados em climas mais frios (por exemplo, em países do Norte, durante o Outono ou o Inverno), devem ser incubadas amostras de solo adicionais a uma temperatura inferior (por exemplo, 10 ± 2 °C).

1.9.1.2. Teor de humidade

No caso de ensaios de transformação em condições aeróbias, o teor de humidade do solo (²) deve ser ajustado e mantido a um valor de pF entre 2,0 e 2,5 (3). O teor de humidade do solo é expresso em massa de água por massa de solo seco e deve ser controlado regularmente (por exemplo, de 2 em 2 semanas) por pesagem dos balões de incubação, devendo as perdas de água ser compensadas por adição de água (de preferência, água da torneira esterilizada por filtração). Durante a adição de água devem tomar-se precauções com vista a evitar ou minimizar perdas da substância de ensaio e/ou dos produtos de transformação por volatilização e/ou fotodegradação (caso ocorra).

No caso de ensaios de transformação em condições anaeróbias ou de solos *paddy*, o solo é saturado com água por inundação.

(¹) Resultados de investigações recentes indicam que solos provenientes de zonas temperadas podem igualmente ser armazenados a -20 °C durante períodos superiores a três meses (28) (29) sem se registarem perdas significativas de actividade microbiana.

(²) O solo não deve estar nem demasiado molhado nem demasiado seco de modo a manter uma ventilação e alimentação adequadas da microflora. Os teores de humidade recomendados para um crescimento microbiano óptimo variam entre 40 % e 60 % da capacidade de retenção de água (WHC) e entre 0,1 e 0,33 bar (6). Este último intervalo é equivalente a uma gama de pF entre 2,0 e 2,5. No apêndice 2 apresentam-se os teores de humidade típicos para vários tipos de solos.

1.9.1.3. *Condições de incubação aeróbia*

No caso de sistemas de fluxo, as condições aeróbias serão mantidas através de ciclos de lavagem ou por ventilação contínua com ar humidificado. No caso de balões biométricos, a permuta de a ré mantida por difusão.

1.9.1.4. *Condições aeróbias estéreis*

Com vista à obtenção de informações relativas à relevância da transformação abiótica de uma substância de ensaio, as amostras de solo podem ser esterilizadas (para informações sobre métodos de esterilização, consultar as referências 16 e 29), tratadas com a substância de ensaio estéril (por exemplo, por adição da solução através de um filtro estéril) e arejadas com ar humidificado estéril, tal como descrito na secção 1.9.1.3. No caso de solos *paddy*, tanto o solo como a água devem ser esterilizados e a incubação deve ser efectuada tal como descrito na secção 1.9.1.6.

1.9.1.5. *Condições de incubação anaeróbia*

De modo a estabelecer e manter condições anaeróbias, o solo tratado com a substância de ensaio é inicialmente incubado em condições aeróbias durante 30 dias, uma semivida ou DT_{50} (escolher a opção mais curta), após o que é coberto de água (camada de água de 1-3 cm) e o sistema de incubação lavado com um gás inerte (por exemplo, azoto ou argon) ⁽¹⁾. O sistema de ensaio deve permitir a realização de medições de pH, concentração de oxigénio e potencial redox, e incluir dispositivos de retenção de produtos voláteis. O sistema de balões biométricos deve ser fechado de modo a evitar a entrada de ar por difusão.

1.9.1.6. *Condições de incubação paddy*

De modo a estudar a transformação em solos de arrozais *paddy*, o solo é coberto com uma camada de água de 1-5 cm e a substância de ensaio é aplicada na fase aquosa (9). A profundidade mínima do solo recomendada é de 5 cm. O sistema é ventilado com ar, tal como descrito para as condições aeróbias. Os valores de pH, concentração de oxigénio e potencial redox da camada aquosa devem ser monitorizados e incluídos no relatório. O início dos estudos de transformação deve ser precedido de um período de pré-incubação de, pelo menos, duas semanas (ver secção 1.8.3.2).

1.9.1.7. *Duração do ensaio*

Os estudos de taxa e via de transformação não devem normalmente exceder 120 dias ⁽²⁾ (3) (6) (8), pois após este período é de esperar uma diminuição da actividade microbiana do solo num sistema laboratorial artificial e isolado dos sistemas naturais de reposição de nutrientes. Sempre que seja necessário caracterizar o desaparecimento da substância de ensaio e a formação e desaparecimento dos principais produtos de transformação, os estudos poderão ser prolongados (por exemplo, 6 ou 12 meses) (8). O prolongamento do ensaio deverá ser justificado no relatório de ensaio e acompanhado de medições de biomassa realizadas durante e no final desses períodos.

1.9.2. **Princípio do ensaio**

Em cada balão de incubação (ver figuras 1 e 2 do apêndice 3) coloca-se cerca de 50g a 200 g de solo (peso seco), que é tratado com a substância de ensaio utilizando um dos métodos descritos na secção 1.8.2. Caso se utilizem solventes orgânicos para a aplicação da substância de ensaio, estes devem ser removidos do solo por evaporação. O solo deverá ser muito bem mexido, utilizando uma espátula e/ou por agitação do balão. Se o ensaio for conduzido em condições de arrozal *paddy*, o solo e a água devem ser muito bem misturados após a aplicação da substância de ensaio. De modo a verificar a uniformidade da distribuição da substância de ensaio, esta deverá ser analisada em pequenas alíquotas (por exemplo, 1 g) dos solos tratados. Em alternativa, poderá ser utilizado um outro método, que se descreverá mais à frente.

A taxa de tratamento deverá corresponder à maior taxa de aplicação de um produto de protecção de culturas que é recomendada nas instruções de utilização e a uma incorporação uniforme até uma profundidade adequada no campo (por exemplo, camada superficial de 10 cm de solo ⁽³⁾). Por exemplo, para produtos químicos aplicados na folhagem ou no solo sem incorporação, a profundidade apropriada para o cálculo de quantidade de produto químico a adicionar a cada balão é de 2,5 cm. No caso de produtos químicos incorporados no solo, a profundidade apropriada é a profundidade de incorporação especificada nas instruções de utilização. No caso de produtos químicos de ocorrência comum, a taxa de aplicação deve ser estimada com base na via de entrada mais relevante. Por exemplo, quando as lamas de esgotos constituem a principal via de

⁽¹⁾ As condições aeróbias são as que predominam em solos superficiais e mesmo em solos subsuperficiais, tal como foi demonstrado num projecto de investigação financiado pela UE [K. Takagi *et al.* (1992). Microbial diversity and activity in subsoils: Methods, field site, seasonal variation in subsoil temperatures and oxygen contents. Proc. Internat. Symp. Environm. Aspects Pesticides Microbiol., 270-277, 17-21 August 1992, Sigtuna, Sweden]. A ocorrência de condições anaeróbias é ocasional, verificando-se apenas durante a inundação dos solos após precipitação intensa ou quando são estabelecidas condições *paddy* (em arrozais).

⁽²⁾ Os estudos aeróbios poderão ser terminados muito antes de decorridos 120 dias, desde que se tenha manifestamente atingido o final da mineralização e da via de transformação. A conclusão do teste poderá ocorrer após 120 dias ou quando pelo menos 90 % da substância de ensaio tiver sido transformada, mas apenas se se tiver formado, no mínimo, 5 % de CO₂.

⁽³⁾ O cálculo da concentração inicial com base na área utiliza a seguinte equação:

$$C_{\text{solo}} [\text{mg/kg}_{\text{solo}}] = \frac{A [\text{kg/ha}] \cdot 10^6 [\text{mg/kg}]}{l [\text{m}] \cdot 10^4 [\text{m}^2/\text{ha}] \cdot d [\text{kg}_{\text{solo}}/\text{m}^3]}$$

$$C_{\text{solo}} = \text{Concentração inicial no solo} [\text{mg/kg}^{-1}]$$

$$A = \text{Taxa de aplicação} [\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}]; l = \text{espessura da camada de solo no campo} [\text{m}]; d = \text{densidade aparente do solo seco} [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}].$$

Em geral, uma taxa de aplicação de 1 kg ha⁻¹ resulta numa concentração no solo de aproximadamente 1 mg kg⁻¹, numa camada de 10 cm (assumindo uma densidade aparente de 1 g cm⁻³).

entrada no solo, o produto químico deve ser adicionado às lamas a uma concentração que reflecte a sua concentração esperada e a quantidade de lamas adicionadas ao solo deve reflectir a sua carga habitual em solos agrícolas. Se esta concentração não for suficientemente elevada para que se possam identificar os principais produtos de transformação, poderá ser útil a incubação de amostras de solo independentes contendo taxas mais elevadas, embora devam ser evitadas taxas excessivas que possam influenciar as funções microbianas do solo (ver secções 1.5 e 1.8.2).

Alternativamente, poderá tratar-se uma maior quantidade de solo (ou seja, 1 kg a 2 kg) com a substância de ensaio; depois de ser cuidadosamente misturado numa máquina misturadora apropriada, o solo tratado será então dividido em pequenas porções de 50 g a 200 g e transferido para os balões de incubação (por exemplo, utilizando divisores de amostras). Também neste caso deverão ser analisados pequenas alíquotas do lote de solo tratado (por exemplo, 1 g), de modo a determinar a uniformidade da distribuição da substância de ensaio. Este procedimento apresenta a vantagem de permitir uma distribuição mais uniforme da substância de ensaio no solo, pelo que será preferível a sua utilização.

Deverão ser igualmente incubadas, nas mesmas condições (aeróbias), que as amostras tratadas com a substância de ensaio, amostras de solo não tratadas; estas amostras serão utilizadas para medições de biomassa durante e no final dos estudos.

Nos casos em que a substância de ensaio é aplicada no solo dissolvida em solvente(s) orgânico(s), deverão ser incubadas, nas mesmas condições (aeróbias) que as amostras tratadas com a substância de ensaio, amostras de solo tratadas com a mesma quantidade de solvente(s) (sem adição da substância em ensaio). Estas amostras são utilizadas para medições de biomassa no início, durante e no final dos estudos de modo a verificar os efeitos do (s) solvente(s) na biomassa microbiana.

Os balões contendo o solo tratado podem ser ligados ao sistema de fluxo descrito na Figura 1 ou tapados com a coluna de absorção ilustrada na figura 2 (ver apêndice 3).

1.9.3 Amostragem e medição

A intervalos de tempo apropriados, removem-se dois balões de incubação, extraem-se as respectivas amostras de solo com solventes apropriados de polaridade diferente e analisa-se a substância de ensaio e/ou os produtos de transformação. Um estudo bem planeado deverá incluir um número de balões suficiente para que possam ser utilizados dois balões em cada ponto de amostragem. A intervalos de tempo variados durante a incubação de cada amostra de solo (intervalos de 7 dias durante o primeiro mês e de 17 dias nos meses subsequentes), e no final do período de incubação, as soluções de absorção ou os materiais sólidos de absorção deverão ser removidos e analisados relativamente à presença de produtos, voláteis. Para além de uma amostra de solo recolhida imediatamente após a aplicação da substância de ensaio (amostra do dia 0), deverão ser incluídos, pelo menos, 5 pontos de amostragem. Os intervalos de tempo deverão ser escolhidos de modo a possibilitar o estabelecimento do padrão de desaparecimento da substância de ensaio e dos padrões de formação e desaparecimento dos produtos de transformação (por exemplo, 0, 1, 3, 7 dias; 2, 3 semanas; 1, 2, 3 meses, etc.).

No caso de se utilizar uma substância de ensaio marcada com ^{14}C , a radioactividade não extractável será quantificada por combustão e será calculado um balanço de massa para cada intervalo de amostragem.

No caso de incubação anaeróbia ou *paddy*, as fases de solo e água podem ser analisadas conjuntamente para a substância de ensaio e produtos de transformação ou ser separadas por filtração ou centrifugação antes da extracção e análise.

1.9.4 Ensaios opcionais

A fim de estimar a influência da temperatura e humidade do solo nas taxas de transformação de uma substância de ensaio e/ou dos seus produtos de transformação no solo, poderá ser útil realizar estudos em condições aeróbias, não estéreis, noutras condições de temperatura e humidade.

Pode tentar-se uma caracterização mais aprofundada da radioactividade não extractável utilizando, por exemplo, extracção com fluidos supercríticos.

2. DADOS

2.1. TRATAMENTO DOS RESULTADOS

As quantidades de substância de ensaio, produtos de transformação, substâncias voláteis (apenas em percentagem) e produtos não extractáveis, devem ser indicadas na forma de percentagem da concentração aplicada inicialmente e, quando apropriado, em $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de solo (com base em peso de solo seco), para cada intervalo de amostragem. Para cada um destes intervalos deverá ainda apresentar-se um balanço de massa, em percentagem da concentração aplicada inicialmente. A representação gráfica das concentrações da substância de ensaio em função do tempo permitirá estimar a sua semivida de transformação, ou DT_{50} . Os produtos de

transformação principais devem ser identificados e os valores das suas concentrações devem também ser representados graficamente em função do tempo a fim de evidenciar as suas taxas de formação e desaparecimento. Considera-se um produto de transformação principal qualquer produto cuja concentração seja $\geq 10\%$ da dose aplicada em qualquer altura ao longo do estudo.

Os produtos voláteis retidos fornecem alguma indicação sobre a capacidade de volatilização, a partir do solo, de uma substância de ensaio e dos seus produtos de transformação.

Devem ser determinados valores mais precisos para as semividas ou DT_{50} e se apropriado, para DT_{75} e DT_{90} , através da aplicação de modelos cinéticos apropriados. Os valores de semivida e de DT_{50} devem ser apresentados conjuntamente com a descrição do modelo utilizado, da ordem da cinética da reacção e do coeficiente de determinação (r^2). É preferível assumir uma cinética de primeira ordem, excepto se $r^2 < 0,7$. Quando apropriado, os cálculos devem ser igualmente aplicados aos produtos de transformação principais. As referências 31 a 35 descrevem exemplos de modelos apropriados.

No caso de estudos de taxas conduzidos a várias temperaturas, as taxas de transformação devem ser descritas em função da temperatura, dentro da gama de temperaturas utilizada experimentalmente, através duma relação de Arrhenius do tipo:

$$k = A \cdot e^{-B/T} \text{ or } \ln k = \ln A - \frac{B}{T}$$

em que $\ln A$ e B correspondem, respectivamente, aos parâmetros de regressão ordenada na origem e declive da melhor correlação linear obtida entre $\ln k$ e $1/T$, k representa a constante de velocidade à temperatura T e T representa a temperatura em kelvin. Deve ter-se em atenção que a relação de Arrhenius é válida para um intervalo limitado de temperatura, no caso de a transformação ser influenciada pela acção microbiana.

2.2. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Apesar de os estudos serem efectuados num sistema laboratorial artificial, os resultados permitirão obter uma estimativa da taxa de transformação da substância de ensaio, assim como da taxa de formação e desaparecimento dos produtos de transformação em condições de campo (36) (37).

O estudo da via de transformação de uma substância de ensaio fornece informação sobre o modo como a substância aplicada é estruturalmente modificada no solo por reacções químicas e microbianas.

3. RELATÓRIO

RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deve incluir o seguinte:

Substância de ensaio:

- nome vulgar, nome químico, número CAS, fórmula estrutural (com indicação da(s) posição(s) de marcação no caso da utilização de material marcado radioactivamente) e propriedades físico-químicas relevantes (ver secção 1.5),
- pureza (impurezas) da substância de ensaio,
- pureza radioquímica do produto químico marcado e actividade específica (quando apropriado).

Substâncias de referência:

- nome químico e estrutura das substâncias de referência utilizadas para a caracterização e/ou identificação dos produtos de transformação.

Solos utilizados no ensaio:

- características do local de recolha,

- data e procedimento utilizado para a recolha de amostras do solo,
- propriedades dos solos, tais como, pH, teor de carbono orgânico, textura (% de areia, % de silte, % de argila), capacidade de troca catiónica, densidade aparente, características de retenção de água e biomassa microbiana,
- duração e condições de armazenamento do solo (caso tenha sido armazenado).

Condições do ensaio:

- datas em que os estudos foram efectuados,
- quantidade de substância de ensaio aplicada,
- solventes utilizados e método de aplicação da substância de ensaio,
- peso do solo inicialmente tratado e retirado para análise em cada intervalo de tempo,
- descrição do sistema de incubação utilizado,
- taxas de fluxo de ar (apenas para sistemas de fluxo),
- temperatura do sistema experimental,
- teor de humidade do solo durante a incubação,
- biomassa microbiana no início, durante e no final dos estudos aeróbios,
- pH, concentração de oxigénio e potencial redox no início, durante e no final dos estudos anaeróbios e *paddy*,
- método(s) de extracção,
- métodos de quantificação e identificação da substância de ensaio e principais produtos de transformação no solo e materiais de absorção,
- número de repetições (duplicados) e número de controlos.

Resultados:

- resultado da determinação da actividade microbiana,
- repetitividade e sensibilidade dos métodos analíticos utilizados,
- taxas de recuperação (na secção 1.7.1 indicam-se os valores percentuais que deverão verificar-se para um estudo válido),
- tabelas de resultados expressos como percentagens da dose inicial aplicada e, quando apropriado, como $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de solo (com base no peso seco),
- balanço de massa durante e no final dos estudos,
- caracterização da radioactividade não extractável (ligada) ou de resíduos presentes no solo,
- quantificação do CO_2 e outros compostos voláteis libertados,

- gráficos representativos da concentração de substância de ensaio no solo e, quando apropriado, dos produtos de transformação principais, em função do tempo,
- valores de semivida ou DT_{50} , DT_{75} e DT_{90} para a substância de ensaio e, quando apropriado, para os produtos de transformação principais, incluindo os limites de confiança,
- estimativa da taxa de degradação abiótica em condições estéreis,
- uma avaliação da cinética de transformação da substância de ensaio e, quando apropriado, dos produtos de transformação principais,
- vias de transformação propostas, quando apropriado,
- discussão e interpretação dos resultados,
- dados experimentais (ou seja, exemplos de cromatogramas, exemplos de cálculos de taxas de transformação e métodos utilizados para identificar os produtos de transformação).

4. REFERÊNCIAS

- (1) US Environmental Protection Agency (1982). Pesticide Assessment Guidelines, Subdivision N. Chemistry: Environmental Fate.
- (2) Agriculture Canada (1987). Environmental Chemistry and Fate. Guidelines for registration of pesticides in Canada.
- (3) Directiva 95/36/CE de 14 de Julho de 1995 que altera a Directiva 91/414/CEE relativa à colocação dos produtos fitofarmacêuticos no mercado. Parte A do Anexo II e Parte A do Anexo III: Destino e comportamento no ambiente.
- (4) Dutch Commission for Registration of Pesticides (1995). Application for registration of a pesticide. Section G: Behaviour of the product and its metabolites in soil, water and air.
- (5) BBA (1986). Richtlinie für die amtliche Prüfung von Pflanzenschutzmitteln, Teil IV, 4-1. Verbleib von Pflanzenschutzmitteln im Boden — Abbau, Umwandlung und Metabolismus.
- (6) ISO/DIS 11266-1 (1994). Soil Quality-Guidance on laboratory tests for biodegradation of organic chemicals in soil — Part 1: Aerobic conditions.
- (7) ISO 14239 (1997). Soil Quality — Laboratory incubation systems for measuring the mineralization of organic chemicals in soil under aerobic conditions.
- (8) SETAC (1995). Procedures for Assessing the Environmental Fate and Ecotoxicity of Pesticides. Mark R. Lynch, Ed.
- (9) MAFF — Japan 2000 — Draft Guidelines for transformation studies of pesticides in soil — Aerobic metabolism study in soil under paddy field conditions (flooded).
- (10) OCDE (1995). Final Report of the OECD Workshop on Selection of Soils/Sediments. Belgirate, Itália, 18-20 de Janeiro de 1995.
- (11) Guth, J.A. (1980). The study of transformations. In Interactions between Herbicides and the Soil (R.J. Hance, Ed.), Academic Press, 123-157.
- (12) DFG: Pesticide Bound Residues in Soil. Wiley- VCH (1998).

- (13) T.R. Roberts: Non-extractable pesticide residue in soils and plants. *Pure Appl. Chem.* 56, 945-956 (IUPAC 1984).
- (14) OECD Test Guideline 304 A: Inherent Biodegradability in Soil (adoptado a 12 de Maio de 1981).
- (15) ISO 10381-6 (1993). Soil Quality — Sampling — Part 6: Guidance on the collection, handling and storage of soil for the assessment of aerobic microbial processes in the laboratory.
- (16) Apêndice V à Directiva 67/548/CEE.
- (17) Guth, J.A. (1981). Experimental approaches to studying the fate of pesticides in soil. In *Progress in Pesticide Biochemistry*. D.H. Hutson, T.R. Roberts, Eds. J. Wiley & Sons. Vol 1, 85-114.
- (18) Soil Texture Classification (US and FAO systems): *Weed Science*, 33, Suppl. 1 (1985) and *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 26:305 (1962).
- (19) *Methods of Soil Analysis* (1986). Part 1, Physical and Mineralogical Methods. A. Klute, Ed.) Agronomy Series No 9, 2.^a edição.
- (20) *Methods of Soil Analysis* (1982). Part 2, Chemical and Microbiological Properties. A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Kelney, Eds. Agronomy Series No 9, 2.^a edição.
- (21) ISO Standard Compendium Environment (1994). Soil Quality — General aspects; chemical and physical methods of analysis; biological methods of analysis. Primeira Edição.
- (22) Mückenhausen, E. (1975). Die Bodenkunde und ihre geologischen, geomorphologischen, mineralogischen und petrologischen Grundlagen. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- (23) Scheffer, F., Schachtschabel, P. (1975). Lehrbuch der Bodenkunde. F. Enke Verlag, Stuttgart.
- (24) Anderson, J.P.E., Domsch, K.H. (1978) A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.* 10, 215-221.
- (25) ISO 14240-1 and 2 (1997). Soil Quality — Determination of soil microbial biomass — Part 1: Substrate-induced respiration method. Part 2: fumigation-extraction method.
- (26) Anderson, J.P.E. (1987). Handling and storage of soils for pesticide experiments. In *Pesticide Effects on Soil Microflora*. L. Somerville, M.P. Greaves, Eds. Taylor & Francis, 45-60.
- (27) Kato, Yasuhiro. (1998). Mechanism of pesticide transformation in the environment: Aerobic and bio-transformation of pesticides in aqueous environment. *Proceedings of the 16th Symposium on Environmental Science of Pesticide*, 105-120.
- (28) Keuken O., Anderson J.P.E. (1996). Influence of storage on biochemical processes in soil. In *Pesticides, Soil Microbiology and Soil Quality*, 59-63 (SETAC-Europe).
- (29) Stenberg B., Johansson M., Pell M., Sjö Dahl-Svensson K., Stenström J., Torstensson L. (1996). Effect of freeze and cold storage of soil on microbial activities and biomass. In *Pesticides, Soil Microbiology and Soil Quality*, 68-69 (SETAC-Europe).
- (30) Gennari, M., Negre, M., Ambrosoli, R. (1987). Effects of ethylene oxide on soil microbial content and some chemical characteristics. *Plant and Soil* 102, 197-200.
- (31) Anderson, J.P.E. (1975). Einfluss von Temperatur und Feuchte auf Verdampfung, Abbau und Festlegung von Diallat im Boden. *Z. PflKrankh Pflschutz, Sonderheft VII*, 141-146.

-
- (32) Hamaker, J.W. (1976). The application of mathematical modelling to the soil persistence and accumulation of pesticides. Proc. BCPC Symposium: Persistence of Insecticides and Herbicides, 181-199.
- (33) Goring, C.A.I., Laskowski, D.A., Hamaker, J.W., Meikle, R.W. (1975). Principles of pesticide degradation in soil. In «Environmental Dynamics of Pesticides». R. Haque and V.H. Freed, Eds., 135-172.
- (34) Timme, G., Frehse, H., Laska, V. (1986). Statistical interpretation and graphic representation of the degradational behaviour of pesticide residues. II. Pflanzenschutz — Nachrichten Bayer 39, 188-204.
- (35) Timme, G., Frehse, H. (1980). Statistical interpretation and graphic representation of the degradational behaviour of pesticide residues. I. Pflanzenschutz — Nachrichten Bayer 33, 47-60.
- (36) Gustafson D.I., Holden L.R. (1990). Non-linear pesticide dissipation in soil; a new model based on spatial variability. Environm. Sci. Technol. 24, 1032-1041.
- (37) Hurler K., Walker A. (1980). Persistence and its prediction. In Interactions between Herbicides and the Soil (R.J. Hance, Ed.), Academic Press, 83-122.

Apêndice 1

TENSÃO DE ÁGUA, CAPACIDADE DE CAMPO (FC) E CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA (WHC) ⁽¹⁾ 1)

Altura da Coluna de Água [cm]	pF ^(a)	bar ^(b)	Observações
10 ⁷	7	10 ⁴	Solo seco
1,6 . 10 ⁴	4,2	16	Ponto de emurchecimento
10 ⁴	4	10	
10 ³ .	3	1	
6 . 10 ²	2,8	0,6	
3,3 . 10 ²	2,5	0,33 ^(c)	
10 ²	2	0,1	Gama de
60	1,8	0,06	Capacidade de campo ^(d)
33	1,5	0,033	
10	1	0,01	WHC (aproximação)
1	0	0,001	Solo saturado de água

^(a) pF = log da altura da coluna de água, em centímetros.

^(b) 1 bar=10⁵Pa.

^(c) Corresponde a um teor de água aproximado de 10 % na areia, 35 % no limo e 45 % na argila.

^(d) A capacidade de campo não é constante, variando com o tipo de solo, com valores de pF entre 1,5 e 2,5.

A *tensão de água* é medida em centímetros da coluna de água ou em bar. Devido à extensa gama de valores para a tensão de sucção, esta é simplesmente expressa como o valor de pF que é equivalente ao logaritmo da altura da coluna de água, em centímetros.

A *capacidade de campo* é definida como a quantidade de água que pode ser armazenada, contra a gravidade, por um solo natural, 2 dias após um extenso período de precipitação ou após irrigação suficiente. É determinado no solo não perturbado, *in situ*, no campo. Esta medição não é, portanto, aplicável a amostras de solo processadas laboratorialmente. Os valores de FC determinados em solos processados podem apresentar amplas variâncias sistemáticas.

A *capacidade de retenção de água* (WHC) é determinada laboratorialmente em solos não perturbados ou em solos processados, através da saturação de uma coluna de solo com água por transporte capilar. É particularmente útil para solos processados e pode atingir valores até 30 % superiores à capacidade de campo (1). Para além disso, é mais fácil a sua determinação experimental do que a determinação de valores fiáveis de FC.

Notas

⁽¹⁾ Mückenhausen, E. (1975). Die Bodenkunde und ihre geologischen, geomorphologischen, mineralogischen und petrologischen Grundlagen. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.

Apêndice 2

**TEORES DE HUMIDADE DO SOLO (g de água por 100 g de solo seco) DE VÁRIOS TIPOS DE SOLOS
PROVENIENTES DE DIFERENTES PAÍSES**

Tipo de solo	País	Teor de humidade do solo a		
		WHC ⁽¹⁾	pF = 1,8	pF = 2,5
Arenoso	Alemanha	28,7	8,8	3,9
Limo-arenoso	Alemanha	50,4	17,9	12,1
Limo-arenoso	Suíça	44,0	35,3	9,2
Franco-limoso	Suíça	72,8	56,6	28,4
Argilo-limoso	Brasil	69,7	38,4	27,3
Argilo-limoso	Japão	74,4	57,8	31,4
Areno-limoso	Japão	82,4	59,2	36,0
Franco-limoso	EUA	47,2	33,2	18,8
Areno-limoso	EUA	40,4	25,2	13,3

⁽¹⁾ Capacidade de Retenção de Água

Apêndice 3

Figura 1:

Exemplo de um sistema de fluxo para o estudo da transformação de produtos químicos no solo ⁽¹⁾ ⁽²⁾

1: válvula de agulha	4: balão de metabolismo do solo (coberto de água apenas para condições anaeróbias e paddy)	6: frasco com ácido sulfúrico para retenção de compostos voláteis alcalinos
2: frasco de lavagem de gás, contendo água	5: frasco com etilenoglicol para retenção de compostos orgânicos voláteis	7, 8: frasco com hidróxido de sódio para retenção de CO ₂ e outros compostos voláteis ácidos.
3: membrana de ultrafiltração (apenas para condições estéreis), porosidade. 0,2 µm		9: medidor de fluxo.

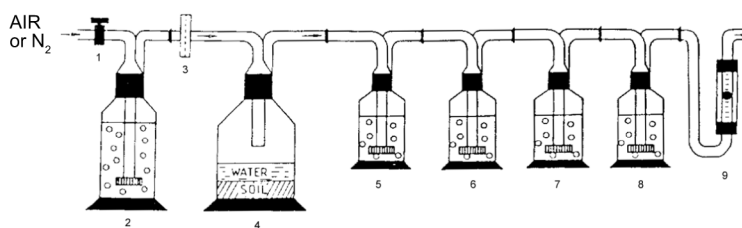
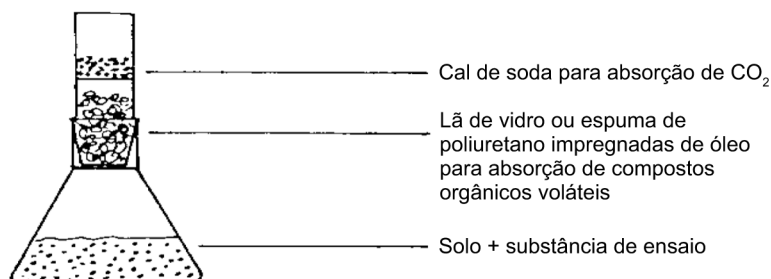


Figura 2

Exemplo de um balão biométrico para o estudo da transformação de produtos químicos no solo ⁽³⁾

⁽¹⁾ Guth, J.A. (1980). The study of transformations. In Interactions between Herbicides and the Soil (R.J. Hance, Ed.), Academic Press, 123-157.

⁽²⁾ Guth, J.A. (1981). Experimental approaches to studying the fate of pesticides in soil. In Progress in Pesticide Biochemistry. D.H. Hutson, T.R. Roberts, Eds. J. Wiley & Sons. Vol 1, 85-114.

⁽³⁾ Anderson, J.P.E. (1975). Einfluss von Temperatur und Feuchte auf Verdampfung, Abbau und Festlegung von Diallat im Boden. Z. PflKrankh Pflschutz, Sonderheft VII, 141-146.

C.24. TRANSFORMAÇÕES AERÓBIAS E ANAERÓBIAS EM SISTEMAS DE SEDIMENTOS AQUÁTICOS

1. MÉTODO

O presente método baseia-se na publicação OECD TG 308 (2002).

1.1. INTRODUÇÃO

Os produtos químicos podem penetrar em águas superficiais ou profundas por diversas vias, tais como aplicação directa, arrastamento, escoamento superficial, drenagem, eliminação de resíduos, efluentes industriais, domésticos ou agrícolas e deposição atmosférica. O presente Método de Ensaio descreve um método laboratorial para avaliar as transformações aeróbias e anaeróbias de produtos químicos orgânicos em sistemas de sedimentos aquáticos e baseia-se em normas de ensaio anteriormente definidas (1) (2) (3) (4) (5) (6). O número e tipo de sedimentos que devem ser utilizados no presente ensaio foi acordado numa reunião de trabalho da OCDE sobre selecção de solos e sedimentos, que decorreu em Belgirate, Itália, em 1995 (7). Foram ainda feitas recomendações relativas à recolha, manipulação e armazenamento das amostras de sedimentos, tendo como base a Orientação ISO (8). Os estudos aqui descritos são necessários para os compostos químicos utilizados na água ou que são susceptíveis de vir a atingir o ambiente aquático pelas vias supracitadas.

As condições nos sistemas de sedimentos aquáticos naturais são frequentemente aeróbias na fase aquática superior. Enquanto a camada superficial de sedimentos pode ser aeróbia ou anaeróbia, a camada mais profunda é usualmente anaeróbia. De modo a abranger as diferentes condições, o presente documento descreve tanto ensaios aeróbios como anaeróbios. O ensaio aeróbio simula uma coluna de água aeróbia no topo de uma camada aeróbia de sedimentos que é sustentada por um gradiente anaeróbio. O ensaio anaeróbio simula um sistema água-sedimento completamente anaeróbio. Em algumas circunstâncias poderá ser necessário utilizar condições significativamente diferentes das descritas nas presentes recomendações, por exemplo, utilizando núcleos intactos de sedimento ou sedimentos que possam ter sido expostos à substância de ensaio; nestes casos, deverão ser utilizados outros métodos disponíveis (9).

1.2. DEFINIÇÕES

Devem ser sempre utilizadas unidades do Sistema Internacional (SI).

Substância de ensaio: Qualquer substância, quer seja o composto inicial ou um produto de transformação relevante.

Produtos de transformação: Todas as substâncias resultantes de reacções de transformação bióticas ou abióticas da substância de ensaio, incluindo CO₂ e resíduos ligados.

Resíduos ligados: «resíduos ligados» representam compostos presentes no solo, planta ou animal, que, após extracção, persistem na matriz quer na forma da substância inicial quer como um dos seus metabolito(s). O método de extracção não poderá alterar substancialmente nem os próprios compostos nem a estrutura da matriz. A natureza da ligação poderá ser parcialmente determinada utilizando métodos extractivos que alterem a matriz e através de técnicas analíticas sofisticadas. Têm sido identificadas deste modo, por exemplo, ligações do tipo covalente, iónico e de absorção/adsorção, assim como encapsulação. De um modo geral, a formação de resíduos ligados reduz significativamente a bioacessibilidade e a biodisponibilidade das substâncias (10) [adaptado de IUPAC 1984 (11)].

Transformação aeróbia (oxidante): Reacções que ocorrem na presença de oxigénio molecular (12).

Transformação anaeróbia (reductora): Reacções que ocorrem na ausência de oxigénio molecular (12).

Águas naturais: São águas superficiais provenientes de charcos, rios, cursos de água, etc.

Sedimento: É uma mistura de constituintes químicos minerais e orgânicos, em que os últimos incluem compostos com elevado conteúdo de carbono e azoto e de peso molecular elevado. É depositado por águas naturais, com as quais forma uma interface.

Mineralização: Degradação completa de um composto orgânico em CO₂ e H₂O, em condições aeróbias, ou em CH₄, CO₂ e H₂O, em condições anaeróbias. No contexto do presente método de ensaio, quando se utiliza um composto marcado radioactivamente, o termo mineralização refere-se à sua degradação extensa, envolvendo a oxidação ou redução de um átomo de carbono marcado e a libertação da quantidade correspondente de ¹⁴CO₂ ou ¹⁴CH₄, respectivamente.

Semivida: $t_{0,5}$, é o tempo necessário para a transformação de 50 % da substância de ensaio, nos casos em que a transformação pode ser descrita por uma cinética de primeira ordem. A semivida da substância é independente da sua concentração inicial.

DT₅₀ (Tempo de Desaparecimento 50): Tempo necessário para reduzir a concentração inicial da substância de ensaio em 50 %.

DT₇₅ (Tempo de Desaparecimento 75): Tempo necessário para reduzir a concentração inicial da substância de ensaio em 75 %.

DT₉₀ (Tempo de Desaparecimento 90): Tempo necessário para reduzir a concentração inicial da substância de ensaio em 90 %.

1.3. SUBSTÂNCIAS DE REFERÊNCIA

A identificação e quantificação dos produtos de transformação através de métodos espectroscópicos e cromatográficos deverão envolver a utilização de substâncias de referência.

1.4. INFORMAÇÃO SOBRE A SUBSTÂNCIA DE ENSAIO

Embora possam ser utilizadas para a medição da taxa de transformação substâncias de ensaio marcadas isotopicamente ou não marcadas, é de preferir a utilização de material marcado. Para o estudo da via de transformação e para o estabelecimento do balanço de massa, é obrigatória a utilização de compostos marcados. A marcação recomendada é com ^{14}C , embora a utilização de outros isótopos, tais como ^{13}C , ^{15}N , ^3H e ^{32}P , possa igualmente revelar-se útil. A marcação deve ser feita, tanto quanto possível, na(s) zona(s) mais estável(is) da molécula ⁽¹⁾. A pureza química e/ou radioquímica da substância de ensaio deve ser de, pelo menos, 95 %.

Antes de se efectuar um ensaio, deve estar disponível a seguinte informação sobre a substância de ensaio:

- (a) solubilidade em água (Método A.6);
- (b) solubilidade em solventes orgânicos;
- (c) pressão de vapor (Método A.4) e constante da Lei de Henry;
- (d) coeficiente de partição n-octanol/água (Método A.8);
- (e) coeficiente de adsorção (K_d , K_f ou K_{oc} , quando apropriado) (Método C.18);
- (f) hidrólise (Método C.7);
- (g) constante de dissociação (pK_a) [Norma de Ensaio OCDE 112] (13);
- (h) estrutura química da substância de ensaio e, quando aplicável, posição da(s) marcação(ões) isotópica(s).

Nota: A temperatura a que se efectuaram estas medições deverá ser indicada no relatório.

Outras informações poderão ser úteis, como, por exemplo, a existência de dados relativos à toxicidade da substância de ensaio para os microorganismos, dados sobre a biodegradabilidade «fácil» e/ou inerente e dados sobre as transformações aeróbias e anaeróbias no solo.

Deverão estar disponíveis métodos analíticos (incluindo métodos de extracção e erradicação) que permitam a identificação e quantificação da substância de ensaio e dos seus produtos de transformação em água e em sedimentos (ver secção 1.7.2).

⁽¹⁾ Por exemplo, se a estrutura da substância de ensaio inclui um anel, este deverá ser marcado; no caso de a substância de ensaio possuir dois ou mais anéis, poderá ser necessário efectuar estudos independentes de modo a avaliar o destino de cada um dos anéis marcados e obter informação adequada sobre a formação dos produtos de transformação.

1.5. PRINCÍPIO DO MÉTODO DE ENSAIO

O método descrito no presente ensaio utiliza um sistema aeróbio e um sistema anaeróbio de sedimento aquático (ver apêndice 1) que permite:

- (i) a medição da taxa de transformação da substância de ensaio num sistema água-sedimento;
- (ii) a medição da taxa de transformação da substância de ensaio no sedimento;
- (iii) a medição da taxa de mineralização da substância de ensaio e/ou dos seus produtos de transformação (caso se utilize a substância de ensaio marcada com C);
- (iv) a identificação e quantificação dos produtos de transformação nas fases aquosa e de sedimento, incluindo balanço de massa (caso se utilize a substância de ensaio marcada);
- (v) a medição da distribuição da substância de ensaio e dos seus produtos de transformação entre as duas fases durante um período de incubação no escuro (a fim de evitar, por exemplo, o desenvolvimento explosivo de algas), a temperatura constante. Nos casos em que os dados o permitam, determinam-se valores para as semividas, DT_{50} , DT_{75} e DT_{90} , não devendo estes valores ser extrapolados para muito além do período experimental (ver secção 1.2).

Tanto para os estudos aeróbios como para os estudos anaeróbios, são necessários pelo menos dois sedimentos e as respectivas águas associadas (7). No entanto, poderão existir situações em que deverão ser utilizados mais do que dois sedimentos aquáticos, como, por exemplo, no caso de um produto químico que possa estar presente em ambientes de água doce e/ou marítimos.

1.6. APLICABILIDADE DO ENSAIO

O método é geralmente aplicável a todas as substâncias químicas (não marcadas ou marcadas radioactivamente) para as quais se encontre disponível um método analítico suficientemente sensível e preciso. É aplicável a compostos ligeiramente voláteis, não voláteis, solúveis ou pouco solúveis em água. O ensaio não deve ser aplicado a compostos químicos muito voláteis a partir da água (por exemplo, fumigantes, solventes orgânicos) já que estes, nas condições experimentais descritas, não podem ser mantidos na água e/ou sedimento.

O método tem sido aplicado ao estudo das transformações sofridas por produtos químicos em águas doces e sedimentos embora, em princípio, possa ser igualmente aplicado a sistemas de estuários e marítimos. Não é, no entanto, adequado para simular as condições de águas correntes (por exemplo, rios) ou de alto mar.

1.7. CRITÉRIOS DE QUALIDADE

1.7.1. Recuperação

A extracção e análise de amostras de água e de sedimento, pelo menos em duplicado, imediatamente após a adição da substância de ensaio, fornece uma primeira indicação relativa à repetitividade do método analítico e à uniformidade do procedimento de aplicação da substância de ensaio. Os valores de recuperação em fases mais adiantadas das experiências são obtidos através dos respectivos balanços de massa (caso se utilize material marcado). Os valores de recuperação devem variar entre 90 % e 110 % no caso de produtos químicos marcados (6) e entre 70 % e 110 % no caso de produtos químicos não marcados.

1.7.2. Repetitividade e sensibilidade do método analítico

A repetitividade do método analítico (com excepção da eficiência de extracção inicial) na quantificação da substância de ensaio e dos produtos de transformação pode ser verificada pela análise, em duplicado, do mesmo extracto das amostras de água ou de sedimento, após incubação durante um período de tempo suficiente para que ocorra a formação de produtos de transformação.

O limite de detecção (LD) do método analítico, tanto para a substância de ensaio como para os produtos de transformação, deve corresponder, no mínimo, ao menor dos seguintes valores: $0,01 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de água ou sedimento (como substância de ensaio) ou 1 % da dose inicialmente aplicada ao sistema de ensaio. Deve ser igualmente especificado o limite de quantificação (LQ).

1.7.3. Precisão dos dados de transformação

A análise de regressão das concentrações da substância de ensaio em função do tempo fornece informação apropriada sobre a precisão da curva de transformação e permite o cálculo dos limites de confiança para as semividas (no caso de cinética de pseudo primeira ordem) ou os valores de DT_{50} e, se adequado, os valores de DT_{75} e de DT_{90} .

1.8. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

1.8.1. Sistema de ensaio e aparelhagem

O estudo deve ser efectuado em recipientes de vidro (por exemplo, frascos, tubos de centrífuga), excepto se existir informação preliminar (tal como coeficientes de partição n-octanol/água, dados de absorção/adsorção, etc.) indicativa de que a substância de ensaio pode aderir ao vidro, caso em que se deve considerar a utilização de um material alternativo (como Teflon). Quando se sabe que a substância de ensaio adere ao vidro, o problema pode ser contornado através da utilização de um ou mais dos seguintes métodos:

- determinar a massa da substância de ensaio e dos produtos de transformação que se encontram absorvidos/adsorvidos ao vidro,
- efectuar uma lavagem de todo o material de vidro com solvente no final do ensaio,
- utilizar produtos formulados (ver igualmente secção 1.9.2),
- utilizar uma maior quantidade de co-solvente para a adição da substância de ensaio ao sistema. Caso se utilize um co-solvente, este não deverá provocar solvólise da substância de ensaio.

Nos apêndices 2 e 3 apresentam-se exemplos de montagens experimentais típicas de ensaio, ou seja, sistemas de fluxo e biométricos, respectivamente (14). Na referência 15 são descritos sistemas de incubação alternativos. A concepção das montagens experimentais deve permitir a troca de ar ou azoto e a retenção de produtos voláteis. As dimensões da montagem experimental devem estar de acordo com os requisitos do ensaio (ver secção 1.9.1). A ventilação pode ser obtida quer por ligeiro borbulhar, quer por passagem de ar ou azoto sobre a superfície da água. No último caso, é aconselhável agitar ligeiramente a água, a partir do topo, por forma a garantir uma melhor distribuição do oxigénio e azoto. Não deve ser utilizado ar sem CO_2 , pois tal pode provocar um aumento do pH da água. Em qualquer dos casos, a perturbação do sedimento é indesejável e deve ser, tanto quanto possível, evitada. Os produtos químicos ligeiramente voláteis devem ser ensaiados num sistema biométrico com ligeira agitação da superfície da água. Podem igualmente ser utilizados recipientes fechados com um espaço livre contendo ar atmosférico ou azoto e pequenos recipientes internos para a retenção de produtos voláteis (16). Durante o ensaio aeróbio, o gás presente na zona superior livre deve ser mudado regularmente de modo a compensar o consumo de oxigénio pela biomassa.

Para a recolha de produtos de transformação voláteis, podem ser utilizados dispositivos de retenção adequados, embora não se restringindo a uma solução de hidróxido de potássio ou de hidróxido de sódio a 1 mol.dm^{-3} para a retenção de dióxido de carbono ⁽¹⁾ e etilenoglicol, ou etanolamina ou uma solução de parafina a 2 % em xileno para compostos orgânicos. Os produtos voláteis formados em condições anaeróbias, tais como o metano, podem ser removidos, por exemplo, através de peneiros moleculares. Estes compostos voláteis podem ser sujeitos a combustão, a CO_2 , por exemplo, por passagem do gás através de um tubo de quartzo cheio com CuO a uma temperatura de $900^\circ C$ e recuperando o CO_2 formado num absorvente alcalino (17).

É necessária aparelhagem laboratorial adequada à análise química da substância de ensaio e dos produtos de transformação (por exemplo, cromatografia gás-líquido (GLC), cromatografia líquida de alta resolução (HPLC), cromatografia de camada fina (TLC), espectroscopia de massa (MS), cromatografia gasosa acoplada a espectroscopia de massa (GC-MS), cromatografia líquida acoplada a espectroscopia de massa (LC-MS), ressonância magnética nuclear (NMR), etc.), incluindo sistemas de detecção para produtos marcados radioactivamente, ou não marcados. No caso de se utilizar material marcado radioactivamente, serão ainda necessários um contador de cintilações e uma mufla de combustão oxidante (para a combustão de amostras de sedimento antes da análise de radioactividade).

Outro equipamento corrente de laboratório necessário inclui o material apropriado para determinações físico-químicas e biológicas (ver tabela 1, secção 1.8.2.2), material de vidro, produtos químicos e reagentes.

1.8.2. Selecção e número de sedimentos aquáticos

Os locais de amostragem devem ser seleccionados de acordo com os objectivos do ensaio para cada situação. Na sua selecção, deve ter-se em conta o historial de possíveis descargas de origem agrícola, industrial ou doméstica que tenham atingido a água no local de captação ou a montante. Não devem ser utilizados sedimentos que tenham sido contaminados com a substância de ensaio ou seus análogos estruturais nos últimos 4 anos.

⁽¹⁾ Uma vez que estas soluções alcalinas de absorção absorvem também o dióxido de carbono proveniente do ar de ventilação e da respiração em experiências aeróbias, devem ser trocadas a intervalos regulares, de modo a evitar a sua saturação e consequente perda de capacidade de absorção.

1.8.2.1. *Seleção de sedimento*

Para os estudos aeróbios (7), utilizam-se normalmente dois sedimentos que devem diferir em relação ao teor de carbono orgânico e à textura. Um dos sedimentos deve apresentar um elevado teor de carbono orgânico (2,5- 7,5 %) e uma textura fina, enquanto o outro deve apresentar um baixo teor de carbono orgânico (0,5- 2,5 %) e uma textura grossa. A diferença mínima entre os teores de carbono orgânico deverá ser de 2 %. Define-se «textura fina» como um conteúdo em [argila + silte] ⁽¹⁾ > 50 % e «textura grossa» como um conteúdo em [argila + silte] < 50 %. A diferença entre os conteúdos em [argila + silte] nos dois sedimentos deve ser de, pelo menos, 20 %. Nos casos em que o produto químico possa atingir águas marinhas, pelo menos um dos sistemas água-sedimento deve ser de origem marinha.

Para o estudo em condições estritamente anaeróbias, devem ser recolhidas amostras de dois sedimentos (incluindo as respectivas águas) a partir de zonas anaeróbias de massas de água superficiais (7). Tanto a fase sedimentar como a aquosa devem ser cuidadosamente manuseadas e transportadas na ausência de oxigénio.

Para a selecção dos sedimentos a incluir no ensaio podem ser importantes outros parâmetros, que devem ser considerados caso a caso. Por exemplo, a gama de pH dos sedimentos será importante para a análise de produtos químicos cuja transformação e/ou absorção/adsorção possa depender do pH. A dependência da absorção/adsorção relativamente aos valores de pH pode ser indicada pelo pK_a da substância de ensaio.

1.8.2.2. *Caracterização das amostras água-sedimento*

Os parâmetros mais relevantes que deverão ser medidos tanto para a água como para o sedimento e incluídos no relatório (fazendo referência ao método utilizado), assim como a fase do ensaio em que devem ser determinados, encontram-se resumidos na tabela abaixo. As referências (18) (19) (20) (21) descrevem os métodos para determinação desses parâmetros.

Em casos específicos, poderá ser necessário medir, e incluir no relatório, outros parâmetros [por exemplo, para água doce: partículas, alcalinidade, dureza, condutividade, NO₃/PO₄ (razão e valores individuais); para sedimentos: capacidade de troca catiónica, capacidade de retenção de água, carbonato, azoto e fósforo totais; para sistemas marítimos: salinidade]. Para a avaliação das condições redox, especialmente no que diz respeito à transformação anaeróbia, poderá ainda ser útil a análise dos sedimentos e da água relativamente à presença de nitrato, sulfato, ferro biodisponível e outros aceitadores electrónicos possíveis.

Medição de parâmetros para a caracterização das amostras água-sedimento (7) (22) (23)

Parâmetro	Fase do procedimento de ensaio					
	Amostragem de campo	Manuseamento posterior	Início da aclimação	Início do ensaio	Durante o ensaio	Final do ensaio
Origem	X					
Temperatura	X					
PH	X		X	X	X	X
TOC			X	X		X
Concentração de O ₂ (*)	X		X	X	X	X
Potencial redox (*)			X	X	X	X

⁽¹⁾ [Argila + silte] é a fracção mineral do sedimento com dimensão de partícula < 50 µm.

Parâmetro	Fase do procedimento de ensaio					
	Amostragem de campo	Manuseamento posterior	Início da aclimação	Início do ensaio	Durante o ensaio	Final do ensaio
Sedimento						
Origem	X					
Profundidade da camada	X					
PH		X	X	X	X	X
Distribuição do tamanho das partículas		X				
TOC		X	X	X		X
Biomassa microbiana (**)		X		X		X
Potencial redox (*)	Observação (cor / cheiro)		X	X	X	X

(*) Investigações recentes revelaram que as medições das concentrações de oxigénio e de potenciais redox na água não possuem valor mecanístico nem preditivo relativamente ao crescimento e desenvolvimento de populações microbianas em águas superficiais (24)(25). A determinação da carência bioquímica de oxigénio (BOD, durante a amostragem de campo, no início e no final do ensaio) e das concentrações dos micro/macronutrientes Ca, Mg e Mn (no início e no final do ensaio), para o caso da água, e a medição do N e P totais no caso de sedimentos (durante a amostragem de campo e no final do ensaio) podem constituir instrumentos mais úteis para a interpretação e avaliação das taxas e vias de biotransformação aeróbia.

(**) Métodos utilizados: Para estudos aeróbios, o método da taxa de respiração microbiana (26); método de fumigação (27) ou contagem de colónias (por exemplo, bactérias, actinomicetes, fungos e colónias totais). Para estudos anaeróbios, taxa de metanogénese.

1.8.3. Recolha, manuseamento e armazenamento

1.8.3.1. Recolha

Para a amostragem de sedimento, deve ser utilizada a versão preliminar da Orientação ISO para a amostragem de sedimentos (8). As amostras de sedimento recolhidas devem incluir toda a camada superior (5 cm a 10 cm) do sedimento. A água associada deve ser recolhida da mesma zona ou local e ao mesmo tempo que o sedimento. Para o estudo anaeróbio, o sedimento e a água associada devem ser recolhidos e transportados na ausência de oxigénio (28) (ver secção 1.8.2.1). Encontram-se descritos na literatura alguns dispositivos de amostragem (8) (23).

1.8.3.2. Manuseamento

A separação do sedimento da água é feita por filtração e o sedimento húmido é crivado com um peneiro de 2 mm, utilizando um excesso de água recolhida no mesmo local que é posteriormente rejeitada. Em seguida, misturam-se quantidades conhecidas de sedimento e água, na razão desejada (ver secção 1.9.1), em balões de incubação e preparam-se para o período de aclimação (ver secção 1.8.4). Para o estudo anaeróbio, todos os passos devem ser realizados na ausência de oxigénio (29) (30) (31) (32) (33).

1.8.3.3. Armazenamento

A utilização de amostras de sedimento e água recentemente recolhidas é vivamente recomendada. No entanto, caso o seu armazenamento seja necessário, o sedimento e a água devem ser crivados, tal como descrito anteriormente, e armazenados conjuntamente, com o sedimento coberto de água (camada de água de 6 cm a 10 cm), no escuro, a 4 ± 2 °C ⁽¹⁾ por um período máximo de 4 semanas (7) (8) (23). As amostras que se destinam a estudos aeróbios devem ser armazenadas em condições de boa ventilação (por exemplo, em recipientes abertos), enquanto as amostras destinadas a estudos anaeróbios devem ser armazenadas na ausência de oxigénio. Durante o transporte e o armazenamento não poderá verificar-se o congelamento do sedimento e da água ou a secagem do sedimento.

1.8.4. Preparação das amostras de sedimento/água para o ensaio

Cada amostra de sedimento/água deverá ser sujeita a um período de aclimação, antes da adição da substância de ensaio. Para tal, cada amostra é colocada no recipiente de incubação que será utilizado no ensaio principal, exactamente nas mesmas condições de incubação do ensaio (ver secção 1.9.1). O período de aclimação decorrerá durante o tempo necessário para atingir uma estabilidade razoável do sistema, reflectido pelos valores de pH, concentração de oxigénio na água, potencial redox do sedimento e da água e separação macroscópica das fases. O período de aclimação deverá ser, geralmente, de uma a duas semanas, não devendo

⁽¹⁾ Estudos recentes demonstraram que o armazenamento a 4 °C pode conduzir a uma diminuição do teor de carbono orgânico do sedimento que, por sua vez, poderá resultar numa diminuição da actividade microbiana (34).

exceder quatro semanas. Os resultados das determinações efectuadas durante este período devem ser incluídos no relatório.

1.9. PROCEDIMENTO DO ENSAIO

1.9.1. Condições do ensaio:

O ensaio deve ser efectuado num aparelho de incubação (ver secção 1.8.1), com uma razão volume de água/sedimento entre 3:1 e 4:1 e uma espessura da camada de sedimento de 2,5 cm ($\pm 0,5$ cm).² Recomenda-se ter um mínimo de 50 g de sedimento (peso seco) por recipiente de incubação.

O ensaio deve ser efectuado no escuro, a uma temperatura constante compreendida entre 10 e 30 °C. Considera-se adequada uma temperatura de (20 $\pm$ 2) °C. Nos casos em que tal for apropriado, dependendo da informação pretendida com o ensaio, poderá considerar-se a utilização de uma temperatura mais baixa (por exemplo, 10 °C). A temperatura de incubação deverá ser sempre monitorizada e indicada no relatório.

1.9.2. Tratamento e aplicação da substância de ensaio

O ensaio é realizado com uma única concentração do produto químico (¹). No caso de produtos químicos de protecção de colheitas aplicados directamente em massas de água, a dosagem máxima indicada no rótulo deve ser considerada como a taxa máxima de aplicação calculada com base na área superficial de água do recipiente de ensaio. Em todos os restantes casos, a concentração a utilizar deverá basear-se em previsões de emissões ambientais. Devem adoptar-se precauções que garantam a aplicação de uma concentração adequada da substância de ensaio, de modo a permitir a caracterização da via de transformação e da formação e desaparecimento dos produtos de transformação. Nos casos em que, no início do estudo, as concentrações da substância de ensaio se encontram próximas dos limites de detecção e/ou nos casos em que os principais produtos de transformação não podem ser facilmente detectados quando a sua concentração é de 10 % da taxa de aplicação da substância de ensaio, poderá ser necessária a aplicação de doses mais elevadas (por exemplo, 10 vezes superiores). No entanto, caso se utilizem no ensaio concentrações superiores, estas não deverão ter efeitos adversos significativos na actividade microbiana do sistema água-sedimento. A fim de obter uma concentração constante da substância de ensaio em recipientes de diferentes dimensões, poderá considerar-se apropriado ajustar a quantidade da substância de ensaio ao volume em ensaio; neste caso, os cálculos deverão basear-se na relação entre a profundidade da coluna de água no recipiente e a profundidade da água no campo (que se assume como sendo de 100 cm, apesar de poderem ser utilizados outros valores). Ver um exemplo de cálculo no apêndice 4.

Idealmente, a substância de ensaio deve ser adicionada à fase aquosa do sistema de ensaio na forma de solução aquosa. No entanto, quando tal for inevitável, poderão utilizar-se pequenas quantidades de solventes miscíveis em água (tais como acetona, etanol) para a aplicação e distribuição da substância de ensaio, desde que a sua concentração não exceda 1 % v/v nem provoque efeitos adversos na actividade microbiana do sistema de ensaio. Durante a preparação da solução aquosa da substância de ensaio devem tomar-se as precauções necessárias e de modo a assegurar a sua completa homogeneidade poderá ser necessário utilizar colunas e pré-mistura. Após a adição da solução aquosa ao sistema de ensaio, a fase aquosa deverá ser suavemente misturada, evitando, tanto quanto possível, perturbar o sedimento.

Embora a utilização rotineira de produtos formulados não seja recomendada, já que os ingredientes da formulação podem afectar a distribuição da substância de ensaio e/ou dos produtos de transformação entre as fases aquosa e sedimentar, no caso de substâncias de ensaio pouco solúveis em água, a sua utilização poderá constituir uma alternativa apropriada.

O número de recipientes de incubação depende do número de pontos de amostragem (ver secção 1.9.3), devendo ser incluídos sistemas de ensaio suficientes para permitir a utilização de dois sistemas em cada ponto de amostragem. Nos casos em que se utilizem unidades de controlo para cada sistema de sedimento aquático, estas não deverão ser tratadas com a substância de ensaio. As unidades de controlo poderão ser utilizadas para a determinação da biomassa microbiana do sedimento e do carbono orgânico total da água e do sedimento no final do estudo. Duas das unidades de controlo (ou seja, uma unidade de controlo de cada sedimento aquático) poderão ser utilizadas para monitorizar os parâmetros requeridos, relativamente ao sedimento e à água,

(¹) O ensaio com uma segunda concentração poderá ser útil no caso de produtos químicos que atingem águas superficiais por diferentes vias de entrada, resultando em concentrações significativamente diferentes; nestes casos, é necessário garantir que a concentração mais baixa pode ser analisada com precisão suficiente.

durante o período de aclimação (ver tabela na secção 1.8.2.2). No caso de a aplicação da substância de ensaio envolver a utilização de um solvente, deverão ser incluídas duas unidades de controlo adicionais para a medição dos potenciais efeitos adversos do solvente na actividade microbiana do sistema de ensaio.

1.9.3.

Normalmente, a duração da experiência não deve exceder 100 dias (6), e deve prosseguir até que se encontrem estabelecidas as vias de degradação e os perfis de distribuição água/sedimento ou até que 90 % da substância de ensaio se tenha dissipado por transformação e/ou volatilização. Deverão ser incluídos, pelo menos, seis pontos de amostragem (incluindo a amostragem no tempo zero). A duração e o regime de amostragem apropriados para o ensaio poderão ser estabelecidos através da realização de um estudo preliminar opcional (ver secção 1.9.4) ou, no caso de existirem, a partir de dados disponíveis sobre a substância de ensaio provenientes de estudos anteriores. No caso de substâncias de ensaio hidrófobas, poderá ser necessária a inclusão de pontos de amostragem adicionais durante o período inicial do estudo, de modo a permitir a determinação da taxa de distribuição entre as fases aquosa e sedimentar.

No tempo correspondente a cada ponto de amostragem, obtêm-se, para análise, recipientes de incubação em duplicado. O sedimento e a fase aquosa sobrenadante são analisados separadamente ⁽¹⁾. A água superficial deve ser removida cuidadosamente, tendo o cuidado de causar a mínima perturbação possível na fase sedimentar. A extracção e caracterização da substância de ensaio e dos seus produtos de transformação devem ser feitas recorrendo a procedimentos analíticos apropriados. O material que possa ter ficado adsorvido, quer no recipiente de incubação quer nos tubos de ligação aos dispositivos de retenção de substâncias voláteis, deve ser removido.

1.9.4. Ensaio preliminar opcional

Nos casos em que a duração e o regime de amostragem não possam ser estimados a partir de outros estudos relevantes sobre a substância de ensaio, pode ser considerado apropriado recorrer a um ensaio preliminar, opcional, que deverá ser efectuado utilizando as mesmas condições experimentais propostas para o estudo definitivo. Caso seja efectuado o ensaio preliminar, as condições experimentais mais relevantes e os resultados devem ser incluídos, de uma forma resumida, no relatório.

1.9.5. Medições e análise

A concentração da substância de ensaio e dos seus produtos de transformação na água e no sedimento, em cada ponto de amostragem, deve ser medida e incluída no relatório (expressa em concentração e em percentagem de substância aplicada). De uma forma geral, e a menos que seja apresentada uma justificação razoável para o contrário, devem ser identificados todos os produtos de transformação que sejam detectados em quantidade $\geq 10\%$ da radioactividade aplicada no sistema água-sedimento total, em qualquer ponto de amostragem. Os produtos de transformação cujas concentrações aumentem continuamente durante o ensaio também devem ser identificados, mesmo nos casos em que a sua concentração não exceda os limites apresentados acima, já que este comportamento poderá ser indicativo de persistência. Esta área deve ser considerada caso a caso e o procedimento adoptado deve ser justificado no relatório.

Os resultados obtidos a partir dos sistemas de retenção de gases/compostos voláteis (CO_2 e outros compostos químicos, ou seja, compostos orgânicos voláteis) devem ser incluídos no relatório para cada um dos tempos de amostragem. As taxas de mineralização deverão igualmente ser incluídas no relatório, assim como os dados sobre os resíduos não extractáveis (ligados) para cada ponto de amostragem.

2. DADOS

2.1. TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Para cada ponto de amostragem, deverá ser calculado o balanço de massa total ou a recuperação da radioactividade adicionada (ver secção 1.7.1). Os resultados devem ser expressos, no relatório, como percentagem da radioactividade adicionada. A distribuição da radioactividade entre a água e o sedimento deve ser apresentada no relatório, para cada tempo de amostragem, na forma de concentrações e de percentagens.

Devem calcular-se os valores de semivida, DT_{50} e, se apropriado, DT_{75} e DT_{90} da substância de ensaio, e respectivos limites de confiança (ver secção 1.7.3). A informação relativa à taxa de dissipação da substância de ensaio em água e no sedimento poderá ser obtida através da utilização de métodos de avaliação adequados, que podem ir desde a aplicação de um modelo de cinética de pseudoprimeira ordem a técnicas empíricas de ajuste de curvas, que aplicam soluções gráficas ou numéricas, e avaliações mais complexas que utilizem, por exemplo, modelos de compartimento único ou compartimentos múltiplos. Para informação mais pormenorizada poderá consultar-se a literatura relevante (35) (36) (37).

Todos os métodos disponíveis apresentam vantagens e desvantagens e grande variabilidade em termos de complexidade. Se, por um lado, o pressuposto de uma cinética de primeira ordem pode ser uma simplificação excessiva dos processos de degradação e de distribuição, a sua aplicação, quando possível, fornece um termo (constante de velocidade ou semivida) que é facilmente compreendido e bastante útil em modelação por simulação e no cálculo de concentrações ambientais previstas. A aplicação de métodos empíricos ou de modelos de transformação linear pode resultar num melhor ajuste da curva aos dados experimentais e,

⁽¹⁾ Nos casos em que os produtos de transformação anaeróbia possam ser fácil e rapidamente reoxidados, as condições anaeróbias devem ser mantidas durante a amostragem e a análise.

portanto, permitir uma melhor estimativa dos valores de semivida, DT_{50} e, quando apropriado, DT_{75} e DT_{90} . No entanto, a utilização das constantes assim derivadas é limitada. Por seu lado, a aplicação de modelos de compartimentos permite o cálculo de várias constantes úteis na avaliação de risco, que caracterizam a taxa de degradação nos diferentes compartimentos, bem como a distribuição do produto químico. Estes modelos devem igualmente ser utilizados para estimar as constantes de velocidade para a formação e degradação dos produtos de transformação principais. Em qualquer dos casos, a selecção do método adoptado deve ser justificada no relatório e o experimentador deve demonstrar graficamente e/ou estatisticamente a adequação do ajuste.

3. RELATÓRIO

3.1. RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório deve incluir a seguinte informação:

Substância de ensaio:

- nome vulgar, nome químico, número CAS, fórmula estrutural (com indicação da posição de marcação no caso da utilização de material marcado radioactivamente) e propriedades físico-químicas relevantes,
- pureza (impurezas) da substância de ensaio,
- pureza radioquímica do produto químico marcado e actividade molar (quando apropriado).

Substância de referência:

- nome químico e estrutura das substâncias de referência utilizadas para a caracterização e/ou identificação dos produtos de transformação.

Sedimentos e águas utilizados no ensaio:

- localização e descrição do local de recolha das amostras de sedimento aquático, incluindo, se possível, o historial de contaminação,
- toda a informação relacionada com a recolha, armazenamento (caso tenha sido efectuado) e aclimação dos sistemas água-sedimento,
- características das amostras de água-sedimento, tal como apresentadas na tabela da secção 1.8.2.2.

Condições do ensaio:

- sistema de ensaio utilizado (por exemplo, sistema de fluxo, sistema biométrico, modo de ventilação, método de agitação, volume de água, massa de sedimento, espessura da camada de água e da camada de sedimento, dimensão dos recipientes de ensaio, etc.),
- aplicação da substância de ensaio ao sistema de ensaio: concentração de ensaio utilizada, número de repetições (duplicados) e controlos e modo de aplicação da substância de ensaio (por exemplo, utilização de solvente, caso necessário), etc.,
- temperatura de incubação,
- tempos de amostragem,
- métodos de extracção e respectivas eficiências, assim como métodos analíticos e limites de detecção,
- métodos para caracterização/identificação dos produtos de transformação,
- deviations from the test protocol or test conditions during the study.

Results:

- raw data figures of representative analyses (all raw data have to be stored in the GLP-archive);
- repeatability and sensitivity of the analytical methods used;
- rates of recovery (% values for a valid study are given in section 1.7.1);
- tables of results expressed as % of the applied dose and in $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ in water, sediment and total system (% only) for the test substance and, if appropriate, for transformation products and non-extractable radioactivity;
- mass balance during and at the end of the studies;
- a graphical representation of the transformation in the water and sediment fractions and in total system (including mineralisation);
- mineralisation rates;
- half-life, DT_{50} and, if appropriate, DT_{75} and DT_{90} values for the test substance and, where appropriate, for major transformation products including confidence limits in water, sediment and in total system;
- an assessment of the transformation kinetics of the test substance and, where appropriate, the major transformation products;
- a proposed pathway of transformation, where appropriate;
- discussion of results.

4. REFERENCES

- (1) BBA-Guidelines for the examination of plant protectors in the registration process. (1990). Part IV, Section 5-1: Degradability and fate of plant protectors in the water/sediment system. Germany.
- (2) Commission for registration of pesticides: Application for registration of a pesticide. (1991). Part G. Behaviour of the product and its metabolites in soil, water and air, Section G.2.1 (a). The Netherlands.
- (3) MAFF Pesticides Safety Directorate. (1992). Preliminary guideline for the conduct of biodegradability tests on pesticides in natural sediment/water systems. Ref No SC 9046. United-Kingdom.
- (4) Agriculture Canada: Environmental chemistry and fate. (1987). Guidelines for registration of pesticides in Canada. Aquatic (Laboratory) — Anaerobic and aerobic. Canada. pp 35-37.
- (5) US-EPA: Pesticide assessment guidelines, Subdivision N. Chemistry: Environmental fate (1982). Section 162-3, Anaerobic aquatic metabolism.
- (6) SETAC-Europe publication. (1995). Procedures for assessing the environmental fate and ecotoxicity of pesticides. Ed. Dr Mark R. Lynch. SETAC-Europe, Brussels.
- (7) OECD Test Guidelines Programme. (1995). Final Report of the OECD Workshop on Selection of Soils/ sediments, Belgirate, Italy, 18-20 January 1995.
- (8) ISO/DIS 5667-12. (1994). Water quality — Sampling — Part 12: Guidance on sampling of bottom sediments.

- (9) US-EPA (1998a). Sediment/water microcosm biodegradation test. Harmonised Test Guidelines (OPPTS 835.3180). EPA 712-C-98-080.
- (10) DFG: Pesticide Bound Residues in Soil. Wiley-VCH (1998).
- (11) T.R. Roberts: Non-extractable pesticide residues in soils and plants. Pure Appl. Chem. 56, 945-956 (IUPAC 1984).
- (12) OECD Test Guideline 304A: Inherent Biodegradability in Soil (adopted 12 May 1981).
- (13) OECD (1993): Guidelines for Testing of Chemicals. Paris. OECD (1994-2000): Addenda 6-11 to Guidelines for the Testing of Chemicals.
- (14) Scholz, K., Fritz R., Anderson C. and Spiteller M. (1988) Degradation of pesticides in an aquatic model ecosystem. BCPC — Pests and Diseases, 3B-4, 149-158.
- (15) Guth, J.A. (1981). Experimental approaches to studying the fate of pesticides in soil. In Progress in Pesticide Biochemistry (D.H. Hutson, T.R. Roberts, Eds.), Vol. 1, 85-114. J. Wiley & Sons.
- (16) Madsen, T., Kristensen, P. (1997). Effects of bacterial inoculation and non-ionic surfactants on degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil. Environ. Toxicol. Chem. 16, 631-637.
- (17) Steber, J., Wierich, P. (1987). The anaerobic degradation of detergent range fatty alcohol ethoxylates. Studies with ¹⁴C-labelled model surfactants. Water Research 21, 661-667.
- (18) Black, C.A. (1965). Methods of Soil Analysis. Agronomy Monograph No. 9. American Society of Agronomy, Madison.
- (19) APHA (1989). Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (17th edition). American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation, Washington D.C.
- (20) Rowell, D.L. (1994). Soil Science Methods and Applications. Longman.
- (21) Light, T.S. (1972). Standard solution for redox potential measurements. Anal. Chemistry 44, 1038-1039.
- (22) SETAC-Europe publication (1991). Guidance document on testing procedures for pesticides in freshwater mesocosms. From the Workshop «A Meeting of Experts on Guidelines for Static Field Mesocosms Tests», 3-4 July 1991.
- (23) SETAC-Europe publication. (1993). Guidance document on sediment toxicity tests and bioassays for freshwater and marine environments. From the Workshop On Sediment Toxicity Assessment (WOSTA), 8-10 November 1993. Eds.: I.R. Hill, P. Matthiessen and F. Heimbach.
- (24) Vink, J.P.M., van der Zee, S.E.A.T.M. (1997). Pesticide biotransformation in surface waters: multivariate analyses of environmental factors at field sites. Water Research 31, 2858-2868.
- (25) Vink, J.P.M., Schraa, G., van der Zee, S.E.A.T.M. (1999). Nutrient effects on microbial transformation of pesticides in nitrifying waters. Environ. Toxicol. 329-338.
- (26) Anderson, T.H., Domsch, K.H. (1985). Maintenance carbon requirements of actively-metabolising microbial populations under *in-situ* conditions. Soil Biol. Biochem. 17, 197-203.
- (27) ISO-14240-2. (1997). Soil quality — Determination of soil microbial biomass — Part 2: Fumigation-extraction method.
- (28) Beelen, P. Van and F. Van Keulen. (1990), The Kinetics of the Degradation of Chloroform and Benzene in Anaerobic Sediment from the River Rhine. Hydrobiol. Bull. 24 (1), 13-21.

-
- (29) Shelton, D.R. and Tiedje, J.M. (1984). General method for determining anaerobic biodegradation potential. *App. Environ. Microbiol.* 47, 850-857.
- (30) Birch, R.R., Biver, C., Campagna, R., Gledhill, W.E., Pagga, U., Steber, J., Reust, H. and Bontinck, W.J. (1989). Screening of chemicals for anaerobic biodegradation. *Chemosphere* 19, 1527-1550.
- (31) Pagga, U. and Beimborn, D.B. (1993). Anaerobic biodegradation tests for organic compounds. *Chemosphere* 27, 1499-1509.
- (32) Nuck, B.A. and Federle, T.W. (1986). A batch test for assessing the mineralisation of ^{14}C -radiolabelled compounds under realistic anaerobic conditions. *Environ. Sci. Technol.* 30, 3597-3603.
- (33) US-EPA (1998b). Anaerobic biodegradability of organic chemicals. Harmonised Test Guidelines (OPPTS 835.3400). EPA 712-C-98-090.
- (34) Sijm, Haller and Schrap (1997). Influence of storage on sediment characteristics and drying sediment on sorption coefficients of organic contaminants. *Bulletin Environ. Contam. Toxicol.* 58, 961-968.
- (35) Timme, G., Frehse H. and Laska V. (1986) Statistical interpretation and graphic representation of the degradational behaviour of pesticide residues II. *Pflanzenschutz — Nachrichten Bayer*, 39, 187-203.
- (36) Timme, G., Frehse, H. (1980) Statistical interpretation and graphic representation of the degradational behaviour of pesticide residues I. *Pflanzenschutz — Nachrichten Bayer*, 33, 47-60.
- (37) Carlton, R.R. and Allen, R. (1994). The use of a compartment model for evaluating the fate of pesticides in sediment/water systems. Brighton Crop Protection Conference — Pest and Diseases, pp 1349-1354.

*Annex 1***GUIDANCE ON THE AEROBIC AND THE ANAEROBIC TEST SYSTEMS****Aerobic test system**

The aerobic test system described in this test method consists of an aerobic water layer (typical oxygen concentrations range from 7 to 10 mg·l⁻¹) and a sediment layer, aerobic at the surface and anaerobic below the surface (typical average redox potentials (E_h) in the anaerobic zone of the sediment range from -80 to -190 mV). Moistened air is passed over the surface of the water in each incubation unit to maintain sufficient oxygen in the head space.

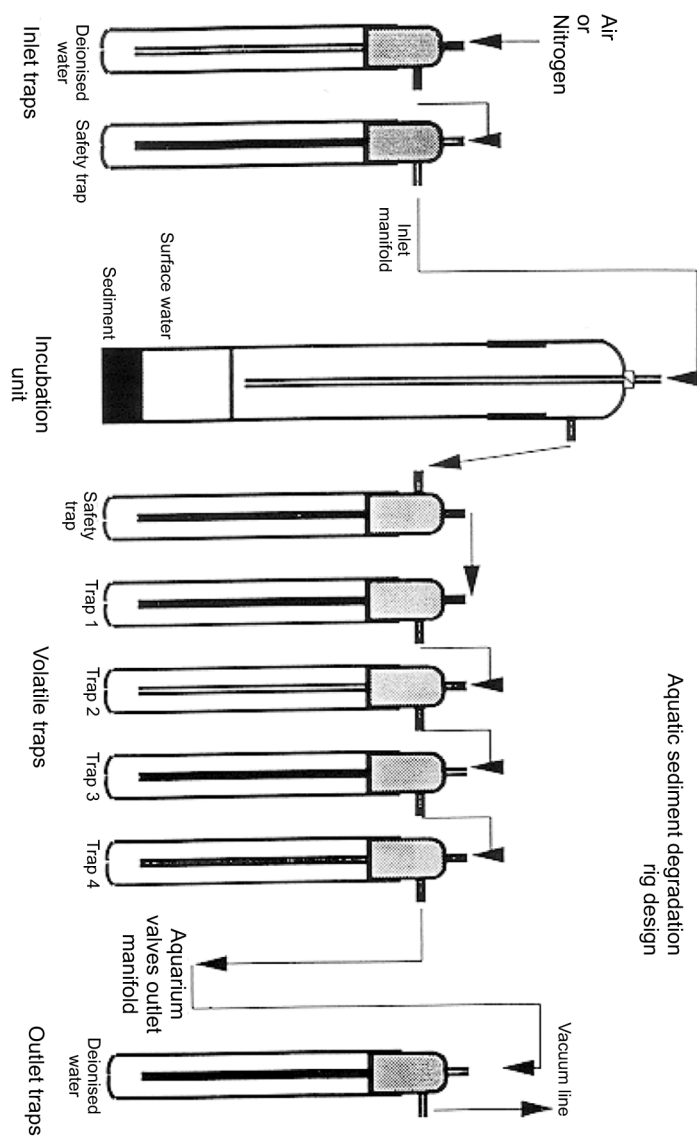
Anaerobic test system

For the anaerobic test system, the test procedure is essentially the same as that outlined for the aerobic system with the exception that moistened nitrogen is passed above the surface of the water in each incubation unit to maintain a head space of nitrogen. The sediment and water are regarded as anaerobic once the redox potential (E_h) is lower than -100 mV.

In the anaerobic test, assessment of mineralisation includes measurement of evolved carbon dioxide and methane.

Annex 2

EXAMPLE OF A GAS FLOW-THROUGH APPARATUS



Safety trap, empty

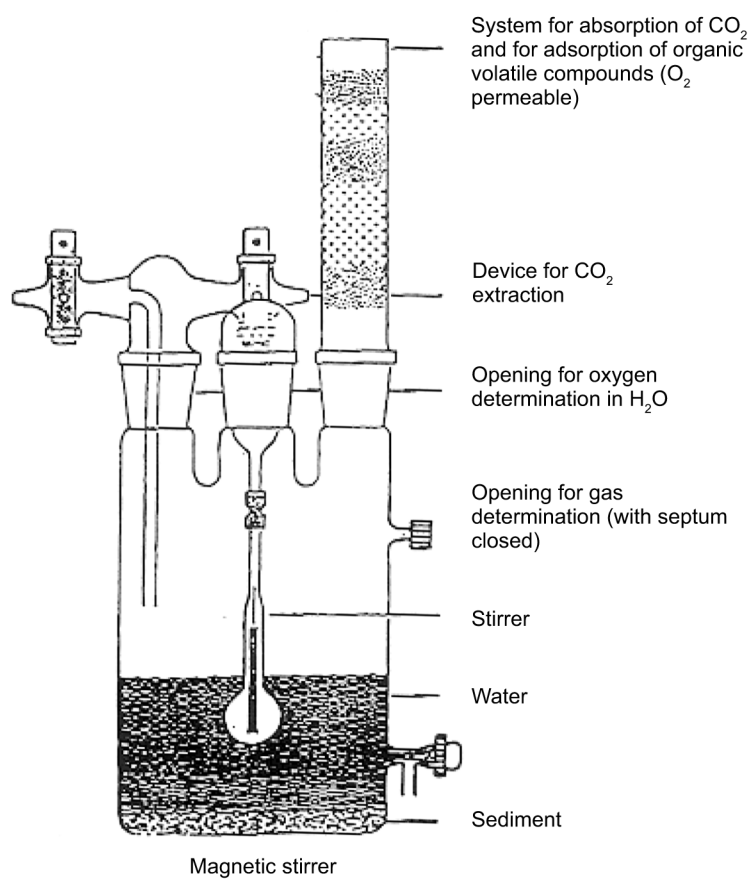
Trap 1:
ethyleneglycol to trap organic volatiles

Trap 2:
sulphuric acid 0.1 M to trap alkaline volatiles

Traps 3 & 4:
sodium hydroxide 2 M to trap CO₂ and other acidic volatiles

Annex 3

EXAMPLE OF A BIOMETER APPARATUS



Annex 4

EXAMPLE CALCULATION FOR APPLICATION DOSE TO TEST VESSELS

Cylinder internal diameter:	= 8 cm
Water column depth not including sediment:	= 12 cm
Surface area: $3,142 \times 4^2$	= 50,3 cm ²
Application rate: 500 g test substance/ha corresponds to 5 µg/cm ²	
Total µg: $5 \times 50,3$	= 251,5 µg
Adjust quantity in relation to a depth of 100 cm:	
$12 \times 251,5 \div 100$	= 30,18 µg
Volume of water column: $50,3 \times 12$	= 603 ml
Concentration in water: $30,18 \div 603$	= 0,050 µg/ml or 50 µg/l
