

DIGITAL TWINS

LIGAÇÃO DO FÍSICO AO DIGITAL



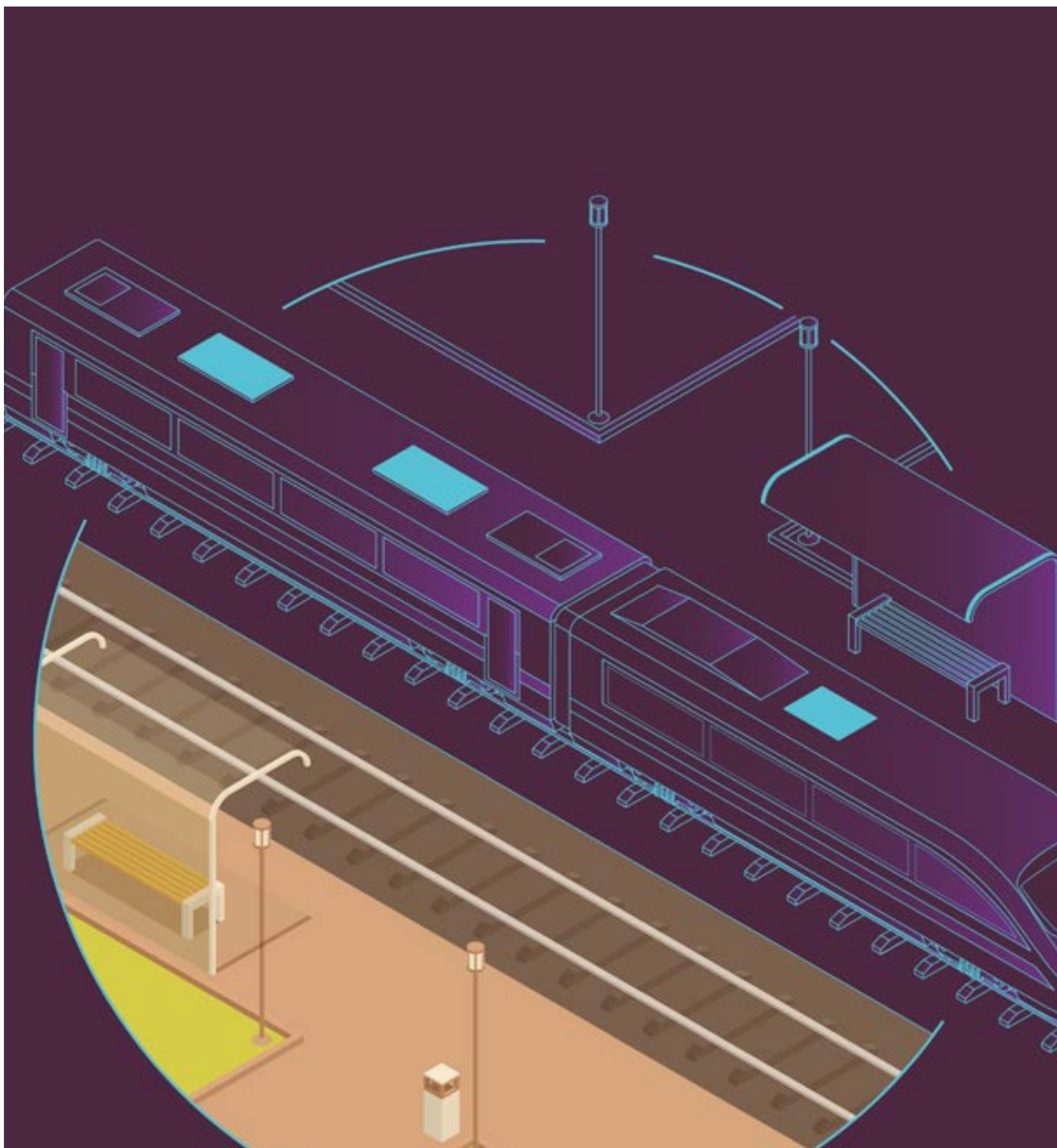
IAPMEI



Powered by CAPACITAR PARA EMPREENDER

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO Os <i>Digital Twins</i> representam uma das tecnologias mais promissoras da atualidade e são um dos processos virtuais para a integração ciber-física perfeita. Esta tecnologia permite "aumentar" o mundo real criando representações virtuais de entidades físicas.	3
CAPÍTULO 2 DIGITAL TWINS Os <i>Digital Twins</i> representam ativos do mundo físico. São entidades dinâmicas digitais que estão atualizadas com as suas contrapartes físicas e permitem simulações utilizando dados em tempo real. Permitem a representação digital de ambientes físicos complexos, permitindo de forma eficiente a sua monitorização e controlo, constituindo uma parte fundamental da transição digital.	10
CAPÍTULO 3 O IMPACTO DOS DIGITAL TWINS NAS ORGANIZAÇÕES O uso de <i>Digital Twins</i> nas organizações é visto como uma solução para melhorar a eficiência da produção e a visibilidade de como funções, processos, serviços, equipamentos e os vários indicadores operacionais e de desempenho podem interagir. Disponibilizam informação inteligente de forma contínua e em tempo real. Capacitam, assim, as organizações na adaptação e melhoria dos seus processos, criando oportunidades de negócio.	15
CAPÍTULO 4 OPORTUNIDADES, SOLUÇÕES E TENDÊNCIAS Numa altura em que o mercado, que é global, exige constante mudança e atualização dos produtos e serviços, num cada vez menor intervalo de tempo, as empresas têm feito uma corrida à digitalização e aos <i>Digital Twins</i> , em particular, para, além de maximizarem a produtividade e a aproximação dos clientes, terem também um maior e mais fino controlo sobre os processos, simulações e previsões.	21
CAPÍTULO 5 CASOS DE ESTUDO Exemplos de casos de estudo de startups ligadas à área dos <i>Digital Twins</i> , em vários setores de atividade relacionados com empresas portuguesas, brasileiras e europeias e exemplos inspiradores para a construção de modelos. Também é identificada uma estratégia de implementação e o <i>roadmap</i> para o <i>Digital Twins</i> .	30
GLOSSÁRIO	44
REFERÊNCIAS	46
ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS, FIGURAS E TABELAS	49



1. INTRODUÇÃO

Os *Digital Twins* representam uma das tecnologias mais promissoras da atualidade e são um dos processos virtuais para a integração ciber-física perfeita. Esta tecnologia permite "aumentar" o mundo real criando representações virtuais de entidades físicas.

Fotografia de [macrovector](#) disponível em [freepik](#)

Palavras-chave: Aprendizagem contínua, Gêmeos Digitais, Indústria 4.0, Integração ciber-física, Manutenção melhorada, Monitorização e otimização em tempo real, Previsão de problemas, Simulação em tempo real, Sistemas auto-evolutivos, Transição Digital.

1.1. O que é um *Digital Twin*

Um *Digital Twin* (*Digital Twin Consortium*®, 2022) (Microsoft Resources, 2021) é uma cópia virtual de uma entidade do mundo físico que é atualizada em tempo real. Para o possibilitar, a entidade física é equipada com sensores que permitem obter vários tipos de dados em tempo real, para atualizar o seu gêmeo digital (*Digital Twin*), e permitir vários tipos de simulações. Os resultados destas simulações poderão ajudar a identificar potenciais melhorias que posteriormente podem ser aplicadas às entidades físicas.



Fig. 1.1. Figura de [SumitAwinash](#) disponível em [WIKIMEDIA COMMONS](#).

O modelo de um *Digital Twin* (DT), tal como inicialmente apresentado por Dr. Michael Grives (Grieves & Thomas, 2015) é composto por três partes: uma entidade física, uma entidade virtual e as ligações entre eles.

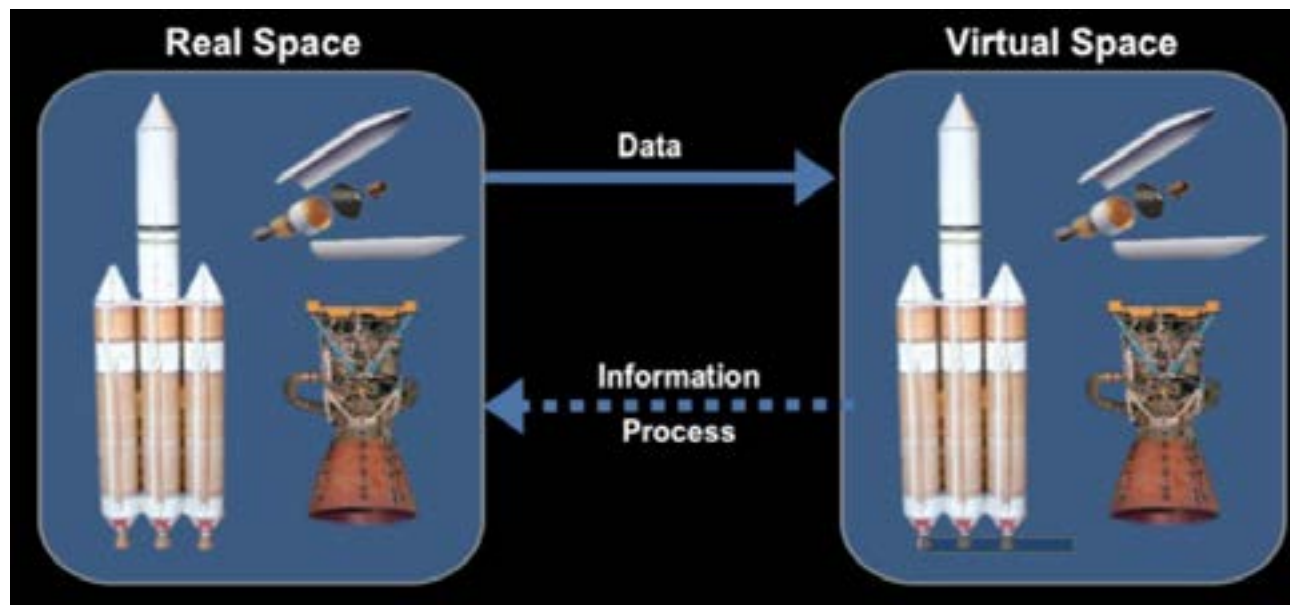


Fig. 1.2. Figura de [Wilmjakob](#) disponível em [WIKIMEDIA COMMONS](#).

Devido à expansão desta tecnologia a diferentes áreas e com a proliferação da internet das coisas (IoT – *Internet of Things*) houve a necessidade de também expandir o modelo inicial. Com este propósito, Tao et al. (2019) apresentaram um modelo de cinco entidades por forma a incluir dados e serviços (e respetivas ligações entre estas novas entidades), resultando assim em: entidades físicas, entidades virtuais, serviços, dados e ligações.

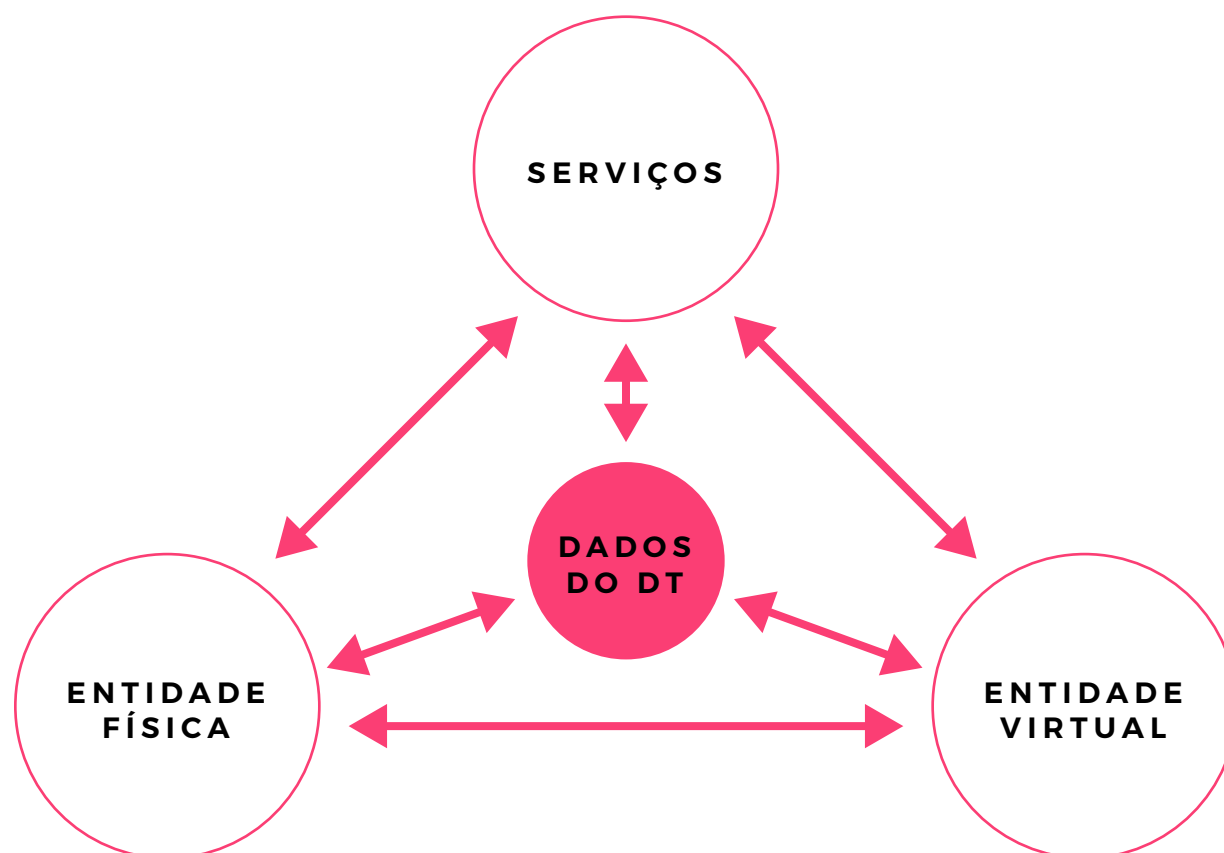


Fig. 1.3. Digital Twin (DT) de 5 entidades, baseado em Tao et al. (2019).

Os *Digital Twins* (DT) representam ambientes reais complexos de forma digital, permitindo de forma inovadora fazer a sua monitorização e controlo.

1.2. Vantagens dos *Digital Twins*

Existem várias vantagens associadas ao facto de se utilizarem *DT* (Siemens, 2019), representadas na Fig. 1.4. Apesar de algumas das vantagens estarem também presentes em outros sistemas a realidade é que a utilização de *DT* faz com que estas tenham um impacto ainda maior nos *DT*. Um exemplo disso são as simulações, que são ferramentas essenciais para a formação e treino ou mesmo para a tomada de decisão. As simulações nos *DT* relevam-se ainda mais uma vez que consideram dados obtidos em tempo real.

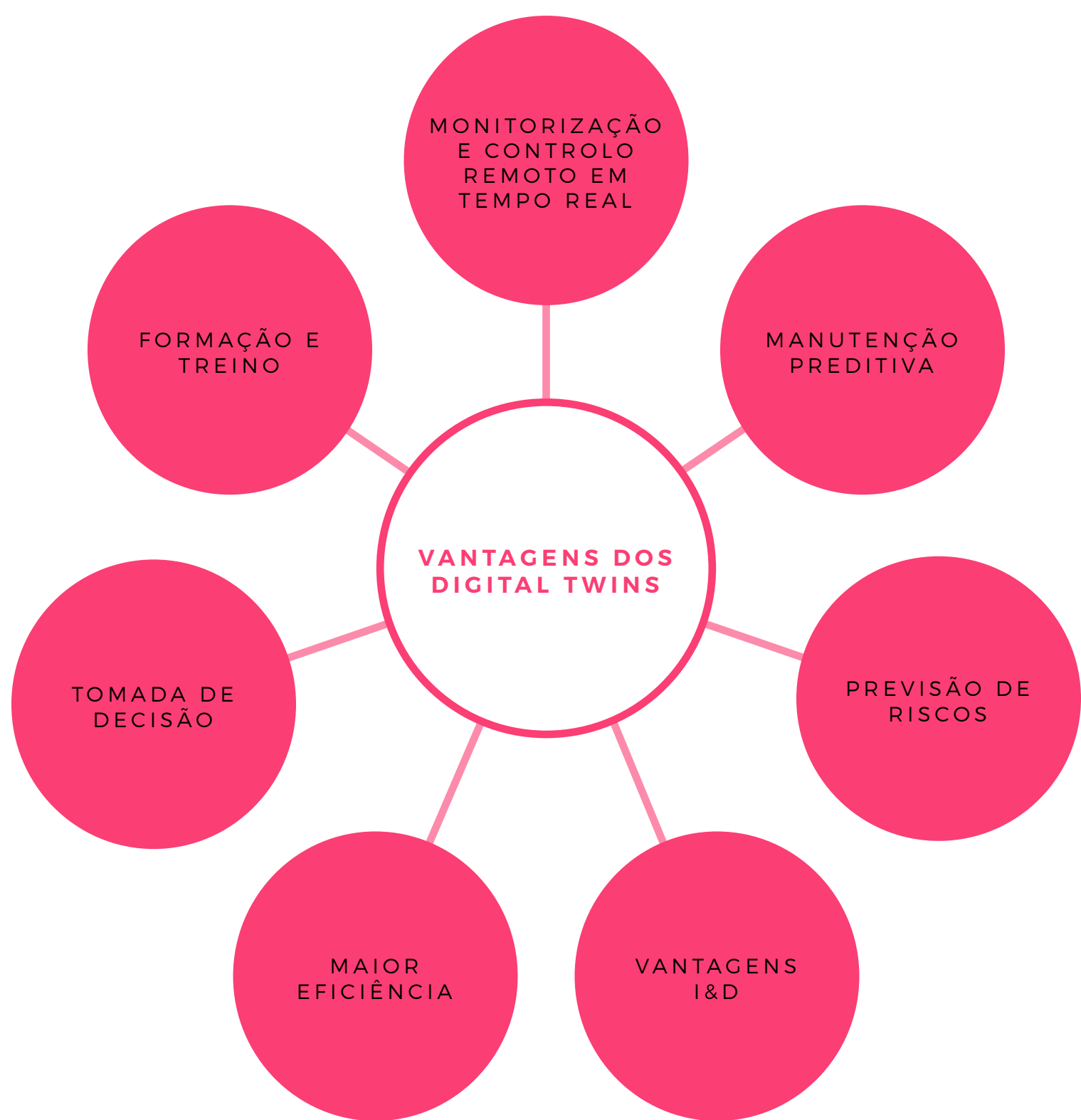


Fig. 1.4. Vantagens dos Digital Twins.

Graças à internet das coisas e à utilização de gémeos digitais, torna-se possível monitorizar e controlar de forma remota os diversos componentes das entidades físicas. Esta vantagem é especialmente importante, dado que muitas vezes é difícil ter uma imagem global em tempo real de um sistema complexo. Esta característica resulta também em ganhos de eficiência. Assim, é possível simplificar estes processos de monitorização e controle de sistemas complexos com os *DT*, os quais podem ser acedidos a partir de qualquer lugar. Em termos de Investigação e Desenvolvimento (I&D), a utilização de *DT* traz várias vantagens, uma vez que permite que vários produtos podem ser testados mesmo antes de se iniciar o seu desenvolvimento, o que por sua vez também ajuda na tomada de decisão.

O facto dos *DT* recorrerem a técnicas de Inteligência Artificial e permitirem correr simulações em tempo real, significa também que é possível não só fazer uma previsão de riscos como também de efetuar uma manutenção preventiva, agindo ainda antes de eventuais problemas nos sistema ocorrerem. Finalmente, os *DT* podem também ser utilizados para formação e treino, evitando potenciais danos com equipamentos dispendiosos e garantindo uma maior segurança.

1.3. A evolução dos *Digital Twins*

De acordo com a literatura, apesar de apenas recentemente os *Digital Twins* terem um papel mais predominante, a sua utilização remonta aos anos 60 nas missões aeroespaciais da NASA.

Fig. 1.5. Ilustração isométrica da tecnologia de simulação de Digital Twins (fonte: [freepik.com](https://www.freepik.com)).

Existem, contudo, vários outros estudos onde se pode identificar esta tecnologia: no livro *Mirror Worlds* de David Gelernter (Gelernter, 1993); no crédito atribuído ao Dr. Michael Grieves pela aplicação do conceito à indústria de fabrico em 2002; na definição do termo "digital twin" pela NASA em 2010. Atualmente o termo Digital Twin (gémeo digital) é amplamente difundido e os *Digital Twins* foram identificados em 2019 pela Gartner (empresa de consultoria) como uma das "strategic technology top 10 trends for 2020" (Gartner, 2019).

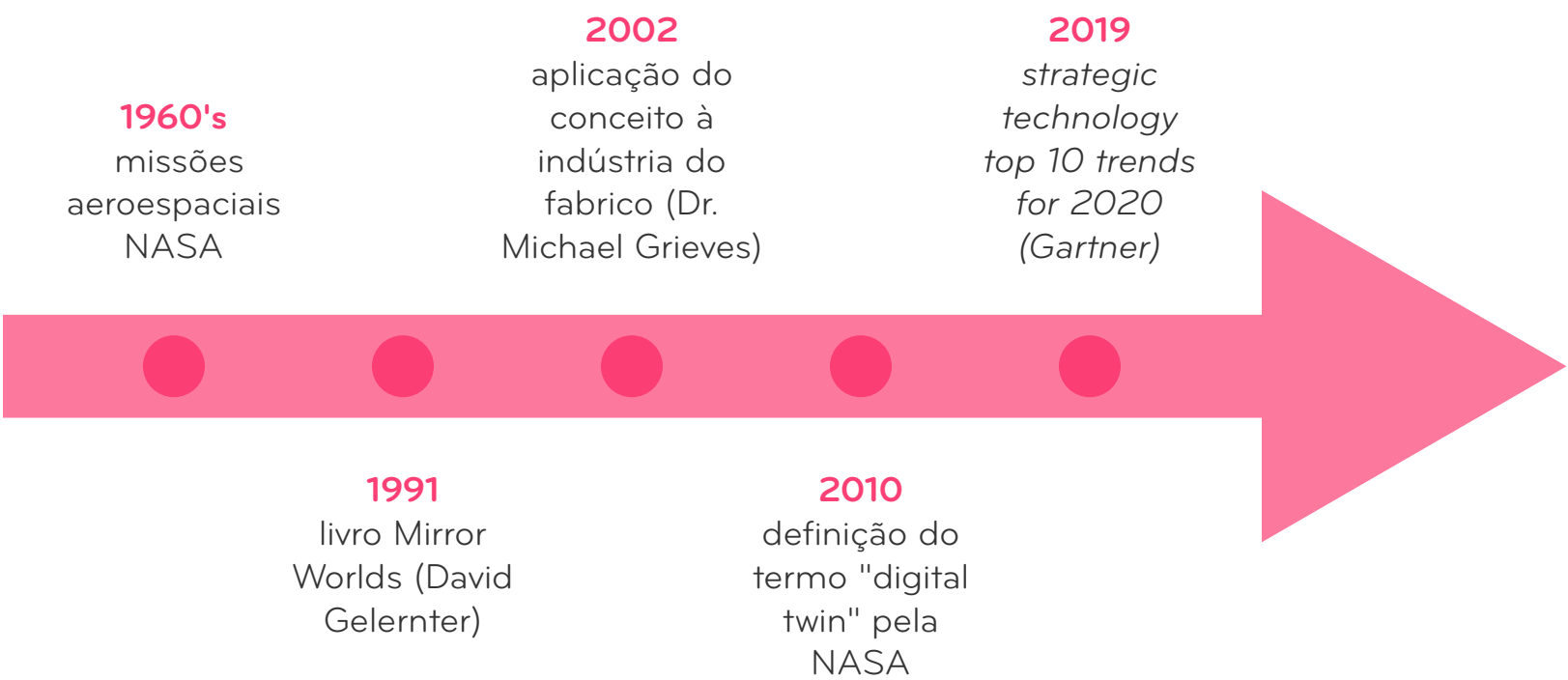
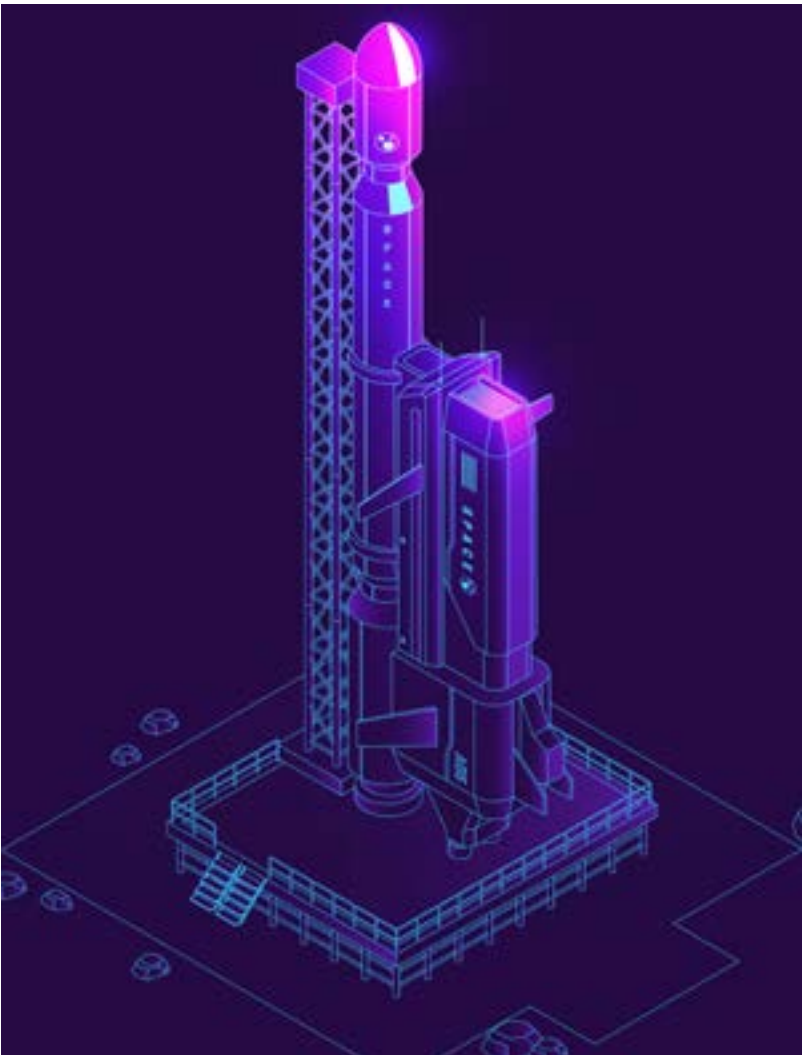
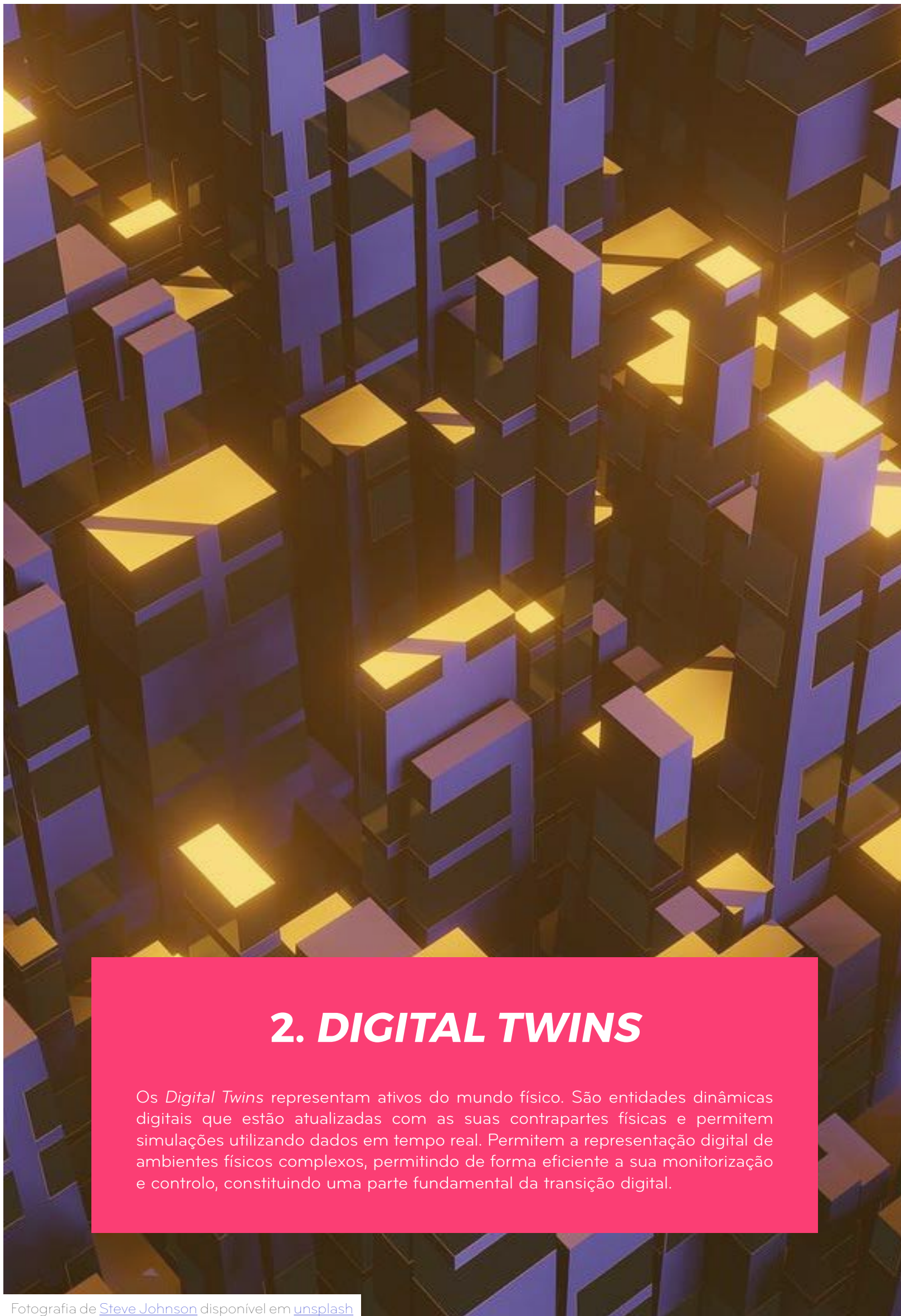


Fig. 1.6. A evolução dos Digital Twins.

Os *Digital Twins* têm atualmente um impacto significativo na transformação digital e constituem uma das tecnologias de considerável relevância na Indústria 4.0. Atualmente, na indústria, existe uma enorme dependência da internet, sistemas e dispositivos eletrônicos e as vantagens tecnológicas são uma necessidade para as empresas. É neste contexto de transformação que as vantagens dos *Digital Twins* se tornam mais evidentes, permitindo a virtualização dos sistemas e melhorando o seu funcionamento e desempenho. Isto revela-se em enormes ganhos, não só económicos, como também em termos de melhorias de segurança dos processos, de redução do desperdício e otimização de recursos, contribuindo assim também para reduzir o impacto ambiental.

Atualmente os *Digital Twins* estão englobados nas estratégias digitais de vários países e mesmo a nível mais global, como é o exemplo do Destination Earth (DestinE) (European Commission, 2021), que faz parte do Green Deal (acordo verde) (European Commission, 2022) e da Estratégia Digital da Comissão Europeia (European Commission, 2022). Esta última iniciativa visa desenvolver um modelo digital de alta precisão da Terra para modelar, monitorizar e simular fenómenos naturais e atividades humanas relacionadas (European Commission, 2021). No DestinE, vários *Digital Twins* serão utilizados para permitir o acesso a dados provenientes da constante observação e de simulações que permitam fornecer previsões realistas para antecipar eventuais cenários futuros (ex.: desastres naturais, eventos climáticos extremos, entre muitos outros).

A rápida evolução da tecnologia com o aumento do poder computacional e das capacidades de aprendizagem, baseadas em Inteligência Artificial, cada vez maiores das máquinas, faz com que os *Digital Twins* estejam em constante evolução. Assim, estes irão ter um número cada vez maior de funcionalidades e permitirão obter cada vez mais e melhores previsões que poderão melhorar os produtos e serviços, estando cada vez mais presentes nas nossas vidas.



2. *DIGITAL TWINS*

Os *Digital Twins* representam ativos do mundo físico. São entidades dinâmicas digitais que estão atualizadas com as suas contrapartes físicas e permitem simulações utilizando dados em tempo real. Permitem a representação digital de ambientes físicos complexos, permitindo de forma eficiente a sua monitorização e controlo, constituindo uma parte fundamental da transição digital.

Fotografia de [Steve Johnson](#) disponível em [unsplash](#)

2.1. Tipos de *Digital Twins*

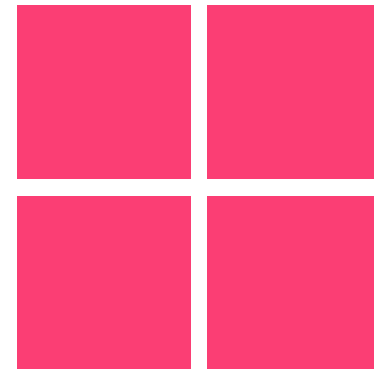
Os *Digital Twins* podem ser classificados em diferentes tipos de acordo com o nível de integração. Assim, é possível ter: a) gémeos de componentes/partes (*Component wins/parts twins*); b) gémeos de entidades (*asset twins*); c) gémeos de sistemas/unidades (*system/unit twins*); e, d) gémeos de processos (*process twins*).



a) Parte/ Componente

A parte mais básica de um Digital Twin representa um único componente-chave que tem impacto direto sobre o funcionamento ou desempenho.

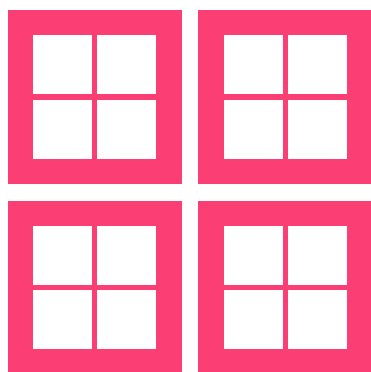
Exemplo: motor de um automóvel.



b) Entidade

As entidades correspondem ao nível de integração seguinte em que podem ser constituídas por vários componentes a trabalhar em conjunto funcionando como uma única entidade. Outra alternativa é a entidade receber a informação de vários componentes.

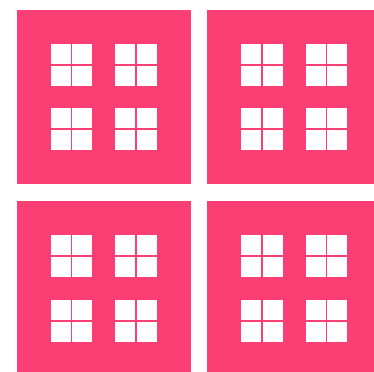
Exemplo: automóvel.



c) Sistema/Unidade

No nível seguinte da hierarquia estão os sistemas que agregam várias entidades, revelando todo um sistema funcional.

Exemplo: uma das fases da linha de produção, como a pintura da carroçaria.



d) Processo

Os processos revelam como os vários sistemas funcionam de forma agregada. Os processos só serão efetivos se todos os componentes, entidades e sistemas cumprirem o seu propósito.

Exemplo: toda a linha de produção da fábrica.

Fig. 2.1. Tipos de Digital Twins

Todos os níveis de integração são importantes e é necessário subir e descer ao longo dos diversos níveis (como uma espécie de zoom) para que a utilização de *DT* para monitorização e controlo seja efetiva.

2.2. As caraterísticas dos *Digital Twins*

Os *DT* têm diversas propriedades que os caracterizam e os distinguem das outras tecnologias.

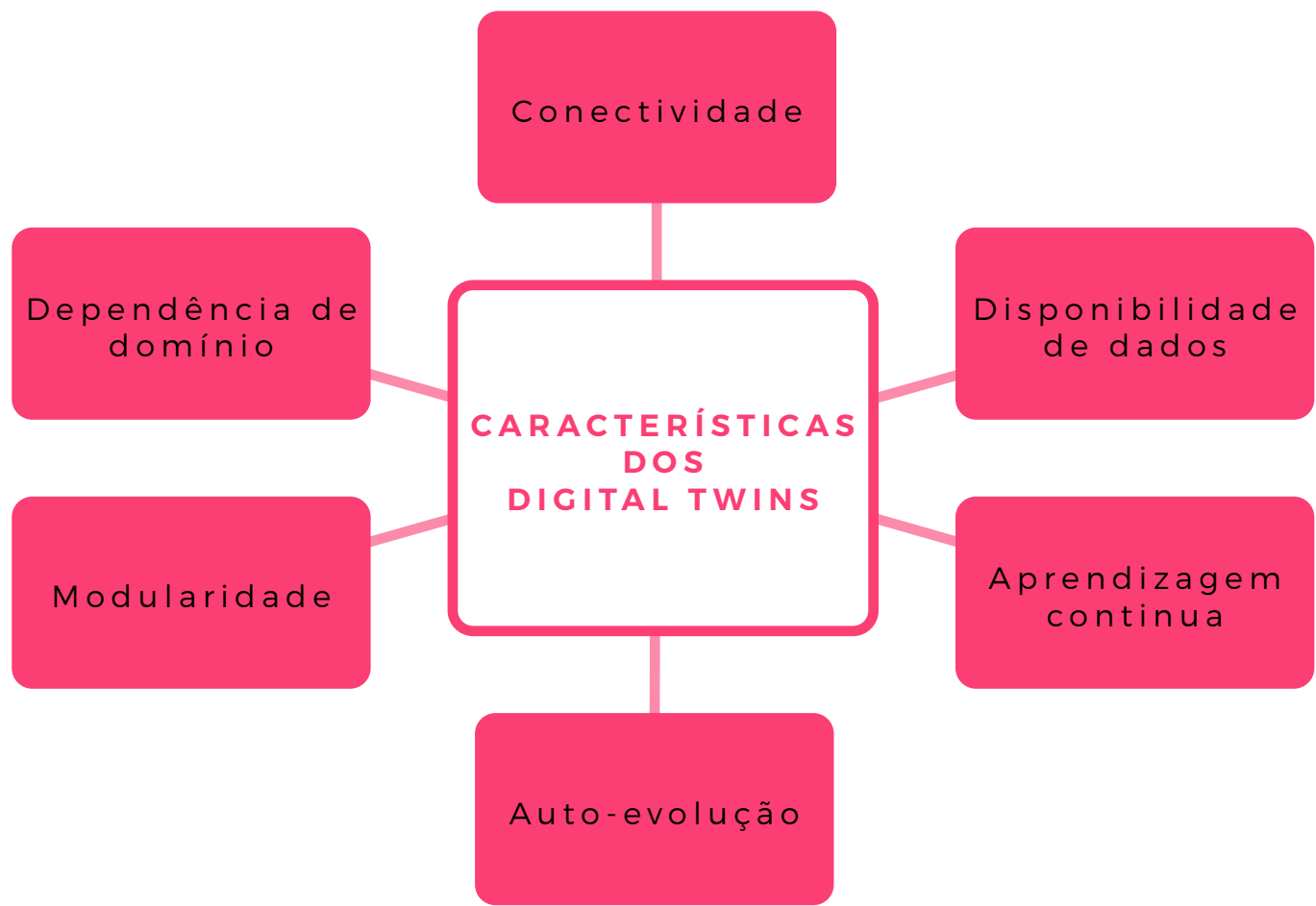


Fig. 2.2. Caraterísticas dos Digital Twins.

Uma dessas caraterísticas é a conectividade, a qual é possível através da utilização de dispositivos de IoT para efetuar a ligação entre a entidade física e o seu *Digital Twin*. Esta conectividade permite assegurar uma disponibilidade de dados em tempo-real, os quais devem ser homogeneizados e dissociados da entidade física, por forma a poderem ser utilizados nos *DT*. Esta disponibilidade de dados deverá também estar presente em diferentes momentos no tempo, para se poder ter acesso a dados em tempo real mas também a dados anteriores. Por sua vez, a capacidade de aprendizagem contínua dos *DT*, feita através de técnicas de *Machine Learning* (uma subárea da inteligência artificial que permite melhorar o funcionamento das máquinas através da aprendizagem), permitem-lhes a auto-evolução, reprogramando-se de forma automática de modo a melhorar o funcionamento e desempenho das entidades físicas. Outra característica, a modularidade, é também essencial para os *DT*, permitindo otimizar os sistemas de forma mais eficiente, analisando qual a contribuição de cada módulo para o desempenho final e otimizando-os (ex.: ao verificar-se que um módulo não está a contribuir como deveria poder-se-á tentar melhorar os seus parâmetros de funcionamento ou mesmo substituí-lo). Finalmente, dado os *DT* representarem entidades físicas, existe uma correspondência entre as caraterísticas ou serviços disponíveis na entidade física e no *DT* (dependência de domínio).

2.3. Como funcionam os Digital Twins?

Um *Digital Twin* obtém informação através dos sensores colocados na sua componente física. Isto permite aceder a dados em tempo real (presente) permitindo a cada momento saber o estado de determinada máquina ou sistema. Os dados obtidos podem ser guardados numa base de dados, obtendo assim um histórico (passado). Estes dados podem também por sua vez ser utilizados como fonte para algoritmos de *Machine Learning* para poderem ser utilizados para fazer previsões ou para fazer simulações (futuro), em tempo real, antecipando assim eventuais problemas ou anomalias com um sistema. O resultado destas simulações pode depois ser aplicado às entidades físicas para melhorar o seu funcionamento e desempenho.

PASSADO	PRESENTE	FUTURO
- Histórico de dados - Base de dados (ex: local, cloud)	- Dados obtidos de sensores - Tempo-real	- Machine learning - Simulações

Fig. 2.3. Caraterísticas dos Digital Twins.

2.4. Simulações vs. *Digital Twins*

Há muito que se utilizam simulações para os mais diversos propósitos, que geralmente utilizam dados passados e são frequentemente realizadas de forma offline, contudo os *DT* baseiam-se também nos dados obtidos em tempo real.

Outra diferença entre simulações e *DT* relaciona-se com a dimensão a que estas são aplicadas. Enquanto as simulações normalmente têm o objetivo de estudar um processo, os *DT* visam o estudo de vários processos os quais frequentemente estão relacionados entre si. Mais do que isso, os *DT* permitem também correr um número ilimitado de simulações.

Os *DT* permitem também que os resultados das várias simulações que correm e a sua relação com os dados reais possam ser utilizados como dados de entrada para novas simulações, melhorando iterativamente o funcionamento e desempenho das mesmas, e contribuindo para uma maior eficiência dos sistemas. Estas características dos *DT* permitem-lhes, assim, prever futuros estados e agindo preventivamente antes de algumas situações ou anomalias acontecerem.

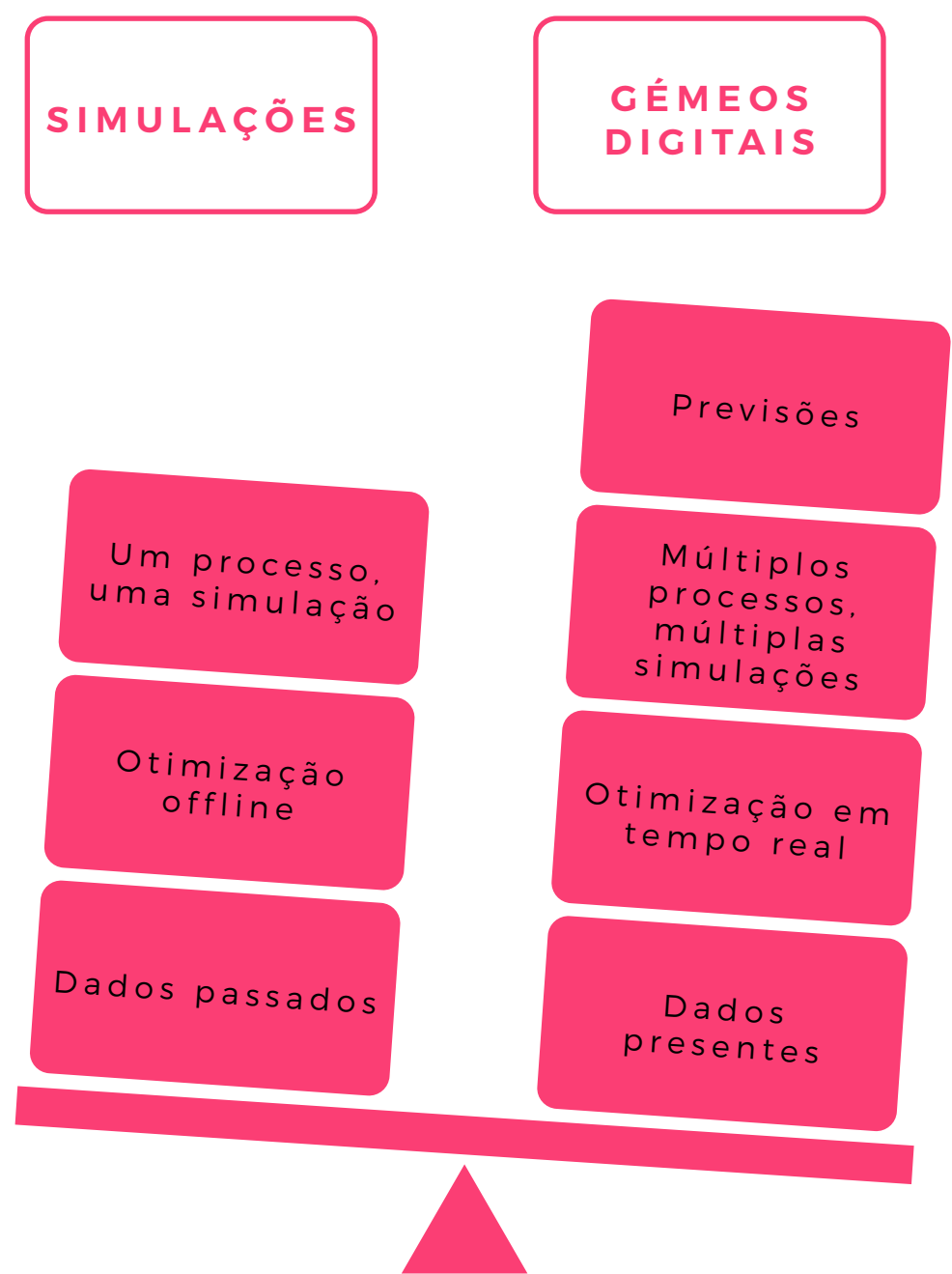


Fig. 2.4. Simulações vs *Digital Twins*.



3. O IMPACTO DOS *DIGITAL TWINS* NAS ORGANIZAÇÕES

O uso de *DT* nas organizações é visto como uma solução para melhorar a eficiência da produção e a visibilidade de como funções, processos, serviços, equipamentos e os vários indicadores operacionais e de desempenho podem interagir. Disponibilizam informação inteligente de forma contínua e em tempo real. Capacitam, assim, as organizações na adaptação e melhoria dos seus processos, criando oportunidades de negócio.

Fotografia de [TheDigitalArtist](#) disponível em [Pixabay](#)

3.1. Benefícios dos *Digital Twins* no desenvolvimento de novos produtos

Os *DT* podem ser a representação virtual de processos ou produtos, nos quais, os vários sensores introduzidos nos elementos físicos permitem perceber e prever o desempenho, apresentando vários indicadores de desempenho ao longo do ciclo de vida do respetivo processo fabril ou da criação de um produto. Utilizando essas informações, o *Digital Twin* desenvolve e atualiza constantemente qualquer alteração no gémeo físico durante todo o ciclo de vida do mesmo (Figura 3.1), oferecendo aos técnicos uma visão completa e inteligente em tempo real da produção, que lhes permite otimizar processos e produtos (Mevea, 2018).

Esta situação é ainda mais importante quando as empresas necessitam de criar novos produtos baseados em produtos anteriores, ou adaptados a novas circunstâncias, cenários, condições físicas, e outros desafios.

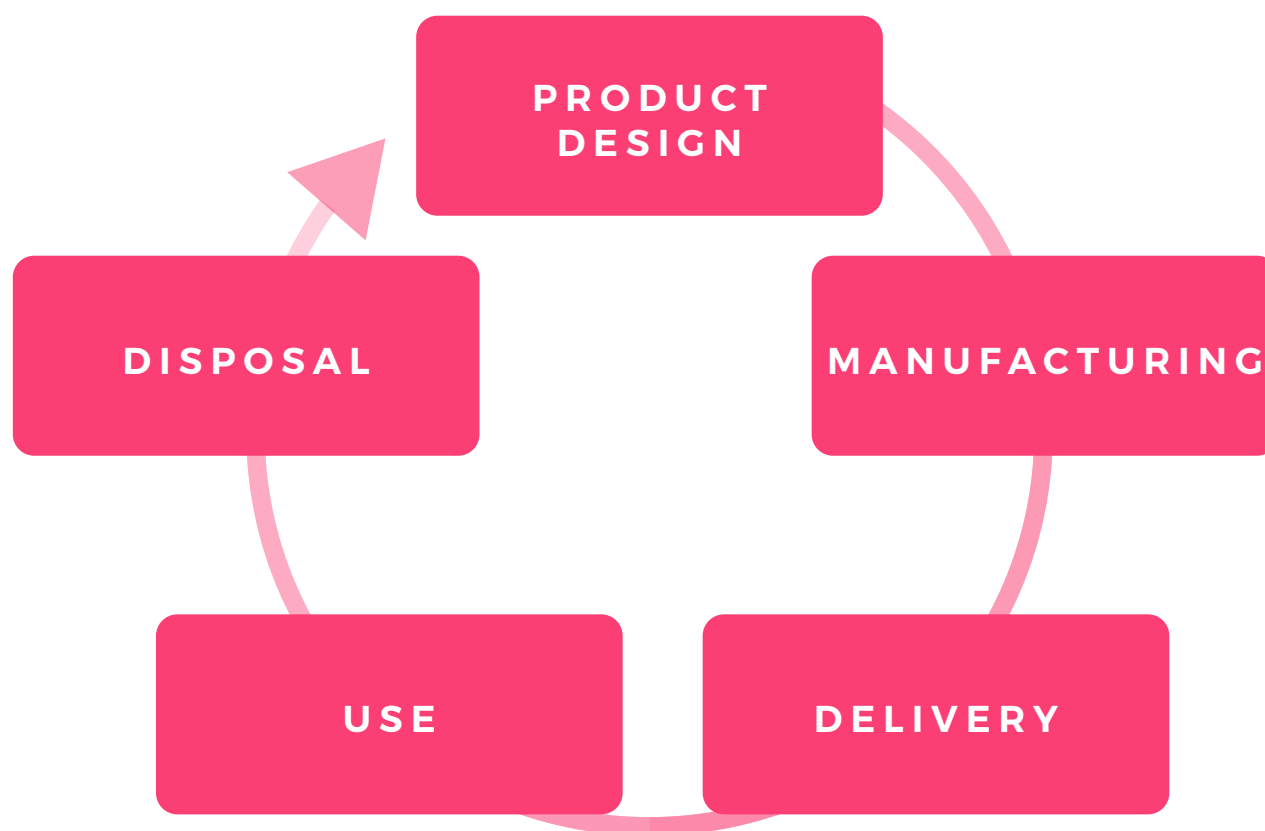


Fig. 3.1. Ciclo de vida de um produto físico e digital

Utilizando a mesma base de informação inteligente e preditiva, os *DT* também conseguem garantir o desempenho e a qualidade necessária num produto "novo" sem a necessidade de criar múltiplos cenários e protótipos que consomem tempo e recursos. Permitem, desta forma, respostas mais rápidas e eficientes aos consumidores e clientes. Com os *DT*, sistemas inteiros de protótipos virtuais podem ser simulados, testados e ajustados muito antes de um protótipo real e físico ser construído e testado, facilitando a criação e inovação de design de produto.

3.2. Quais as vantagens na utilização de *Digital Twins* na Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é o nome da mais recente revolução industrial, na qual os processos de fabrico estão a ser desenvolvidos e controlados por sistemas e soluções digitais e de forma computadorizada. Ao desenvolver uma base digital, as empresas conseguem apresentar um registo completo dos seus produtos em formato digital. A "digitalização" permite melhorar os produtos físicos através de interfaces digitais e serviços inovadores. Este desenvolvimento tecnológico da Indústria 4.0 poderá ainda ser melhorado com a introdução massiva dos sistemas *DT* nos diversos processos e produtos futuros (SAP Digital Supply Chain, 2020).

Visto que os *DT* conseguem ter uma representação digital constante dos seus produtos reais ou físicos, é possível capturar registos completos desde a sua conceção/design, até ao desenvolvimento e produção, manutenção e fim de vida. Portanto, como mencionado no estudo de Lo et al. (2021), ao desenvolver e utilizar os *DT* na conceção e design de um produto não servirá apenas para otimizar os processos de criação (ou seja, auxílio nas decisões de projeto, maximizar o desempenho do projeto, prever recursos do produto, etc.), mas também ser benéfico para eventos futuros (por exemplo, planear a fabricação, monitorizar a qualidade do produto, gestão da reciclagem, etc.). Em cada uma destas etapas do ciclo de vida de um produto, o *Digital Twin* pode capacitar as indústrias com análises rápidas para a solução de problemas, na rápida deteção de defeitos e na predição da vida útil de um produto. Isto reduz os custos e aumenta a eficiência. Qualquer operação já existente pode ser otimizada por um *Digital Twin* (Siemens, 2019).

Um *Digital Twin* pode também ajudar a perceber antecipadamente e de forma preditiva quais serão os desafios na introdução de um novo elemento ou processo no local onde estão os funcionários, máquinas e estruturas, e são realizados todos os processos industriais (chão de fábrica). Ao utilizar um *Digital Twin* para simular vários processos interligados e relacionados, as empresas conseguem analisar os resultados dessas simulações e criar metodologias de produção que permanecerão eficientes e produtivas, independentemente das condições heterogéneas que existam no chão de fábrica. Esta informação constante e detalhada dos equipamentos, capturada pelos diversos sensores instalados, também poderá ser utilizada para prevenir ou antecipar as falhas dos diversos componentes que constituem um equipamento industrial, ajustando assim as manutenções regulares e preventivas de modo a garantir que não existam quebras inesperadas de funcionamento nas linhas de produção altamente dependentes de processos contínuos, tornando-as mais eficazes e produtivas, ao mesmo tempo que reduz os custos e os acidentes de trabalho. Simulações podem ser realizadas para aumentar o nível de conhecimento técnico dos funcionários de manutenção antes mesmo da sua primeira intervenção real. Este tipo de simulações pode ser realizado com a ajuda de técnicas de Realidade Virtual (*Virtual Reality* - VR) e Realidade Aumentada (*Augmented Reality* - AR), criando treinos personalizados para aumentar o desempenho das tarefas mais desafiadoras e complicadas.

Graças ao acesso colaborativo facilitado pelos *DT*, qualquer nova informação recolhida durante uma manutenção corretiva não agendada ou de emergência, poderá ser utilizada para ajustar e melhorar processos ou produtos, novos ou já existentes. Esta atualização em tempo real, servirá de base para todos os produtos que partilhem a mesma informação, diminuindo assim outras crises operacionais, manutenções corretivas de emergência, resultando num aumento da produção industrial. A análise desta informação partilhada utilizando técnicas avançadas de aprendizagem automática (*machine learning*) e de outras técnicas de inteligência artificial pode garantir a redução de defeitos nas máquinas que apresentam um maior desgaste em alguns componentes. Como resultado as empresas conseguem otimizar e gerir mais facilmente os processos de manutenção, enquanto reduzem custos na substituição de elementos e na poupança de desperdício com produtos defeituosos. No estudo de Wagner et al. (2019), os autores afirmam que a ligação contínua entre os *DT* é a chave do sucesso para alcançar níveis elevados de progresso e de excelência nos aspetos operacionais de forma a manter a competitividade na indústria.

A tabela 3.1 apresenta um resumo das principais vantagens da utilização do *DT* na Indústria 4.0. Estas vantagens são evidentes em diversas categorias. O aumento da qualidade e longevidade dos produtos desenvolvidos; melhoria na manutenção e desempenho dos equipamentos e sistemas ao longo da sua vida útil; a redução de custos em muitas áreas transversais da indústria, aumento da segurança dos trabalhadores, e melhoria na satisfação dos clientes.

Tabela 3.1. Vantagens na utilização de digital twin na indústria 4.0

CATEGORIA	VANTAGENS
Qualidade	- Melhoria na qualidade dos produtos - Redução dos defeitos em produtos que são causados pelo desgaste das máquinas que os produzem - Mais entendimento nos processos que contribuem para a degradação de elementos ou produtos a longo prazo
Operação	- Aumenta a capacidade de conhecimento do estado operacional com base no seu Digital Twin adaptativo - Aumenta o desempenho por meio de um ajuste contínuo e dinâmico dos equipamentos, processos e sistemas - Prolonga a vida útil dos equipamentos - Aumentar o conhecimento técnico dos funcionários que realizam manutenções através de <i>DT</i>, VR e AR
Custos	- Redução do custo de manutenção corretivas de emergência - Redução de custos em design e produção de protótipos reais - Redução de custos para a criação de um novo produto - Redução de custos nos serviços de garantia ao cliente
Segurança	Reduz o risco de acidentes pessoais de trabalho
Garantia e satisfação de clintes	- Providenciar informações em tempo real sobre os produtos, de modo a possibilitar soluções rápidas e eficazes - Determinar proactivamente e com mais precisão as questões de garantia e reclamações de clientes - Capacidade de identificar os produtos ou equipamentos que precisam de upgrade antes do cliente se aperceber das falhas

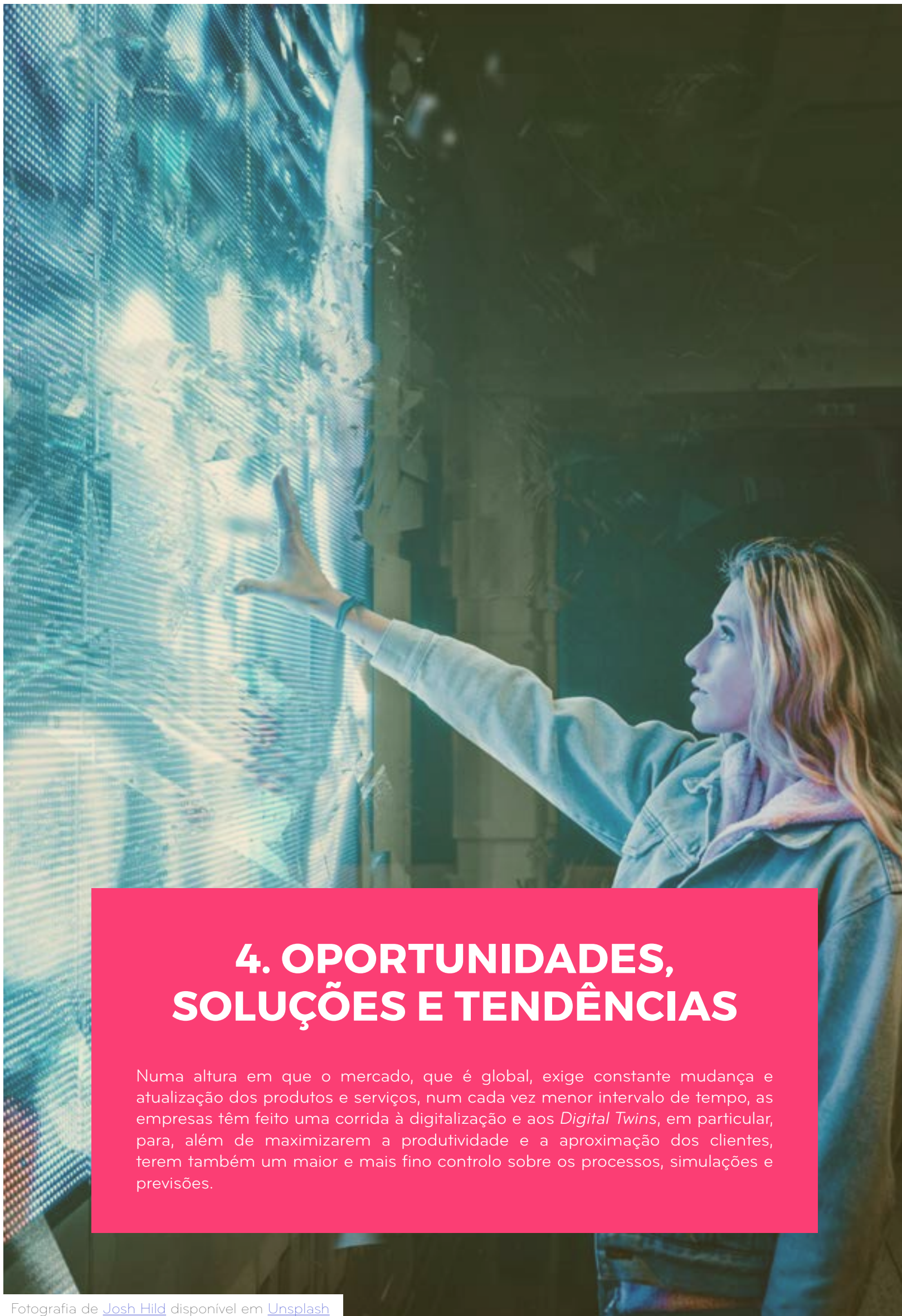
3.3. Como os *Digital Twins* podem criar novas oportunidades de negócio

Embora os *DT* permitam a melhoria de eficiência e a redução de custos em vários processos industriais, os resultados não são imediatos. A digitalização de um negócio pode ser exigente, e poderá ser difícil observar a curto prazo os benefícios da implementação de soluções *DT* em processos industriais complexos já existentes (Wang, Lee, & Hsu, 2020). Estes benefícios são ainda mais invisíveis no passado, quando a criação de um *Digital Twin* tinha um custo muito elevado. No entanto, com a evolução dos sistemas de armazenamento digitais, a redução dos custos de computação e a experiência adquirida em outros projetos, a criação de *DT* tem sido crescente em diversas áreas (indústria, transportes, construção, serviços públicos, saúde e militar), criando diversas oportunidades de negócio (Tao, et al., 2018). Pesquisas recentes sugerem que o valor total de mercado para os sistemas de *DT* foi de cerca de 3.1 mil milhões de dólares no ano de 2020, prevendo-se que aumente até 48,2 mil milhões de dólares até ao ano de 2026 (Leng, 2021).

Hoje, existem algumas empresas recentes, como a Twaice (Twaice, 2019) e a Cognata (Cognata, 2021), que estão a inovar no sector agrícola, automóvel e cidades inteligentes com a utilização de *DT*. A empresa Twaice utiliza *DT* para criar o futuro da mobilidade, aumentando a vida útil da bateria ao mesmo tempo que reduz os custos de desenvolvimento e testes de novas baterias. A empresa Cognata utiliza os *DT* para melhorar a condução autónoma e a simulação de sistemas avançados de assistência aos condutores de veículos.

De acordo com Panetta (2017), o Vice-Presidente da Gartner Research, David Cearley, afirmou: "Com o tempo, as representações digitais de praticamente todos os aspetos do nosso mundo serão interligados dinamicamente com suas contrapartes do mundo real e entre si e infundidas com recursos baseados em Inteligência Artificial (IA) para permitir simulação avançada, operação e análise".

Ao considerar as vantagens que um *Digital Twin* oferece, as empresas devem se concentrar nas métricas de desempenho e eficiência que poderão ser impulsionadas pela sua criação, tais como a nível de qualidade, garantia de produto, custos de operacionalização ou fabrico, a identificação de problemas e a constante inovação (Deloitte, 2017). Estas métricas têm o potencial de criar impacto num negócio. No entanto, para usufruir desse potencial, é necessário garantir que o *Digital Twin* seja específico nas suas funções e objetivos (Singh, 2021). Assim que os primeiros objetivos são alcançados, o entusiasmo aumenta, e as oportunidades de negócio surgem com base na experiência sólida e vantajosa já observada. As pequenas e médias empresas devem começar com pequenos protótipos que permitam testar soluções, refiná-las e calibrar todos os processos envolvidos nesta transformação digital (Brossard, Chaigne, Corbo, Mühlreiter, & Stein, 2022). Além disso, as empresas precisam de funcionários qualificados para saber utilizar a informação em larga escala que é expectável que um sistema *Digital Twin* produza, bem como adquirir *software* e equipamento de comunicações que corresponda às necessidades do *Digital Twin*.



4. OPORTUNIDADES, SOLUÇÕES E TENDÊNCIAS

Numa altura em que o mercado, que é global, exige constante mudança e atualização dos produtos e serviços, num cada vez menor intervalo de tempo, as empresas têm feito uma corrida à digitalização e aos *Digital Twins*, em particular, para, além de maximizarem a produtividade e a aproximação dos clientes, terem também um maior e mais fino controlo sobre os processos, simulações e previsões.

Fotografia de [Josh Hild](#) disponível em [Unsplash](#)

A globalização da economia trouxe, por um lado, múltiplas oportunidades, mas também enormes exigências onde a produtividade e a competitividade (Bom, 2019) são as palavras de ordem. Por outro lado, os clientes/consumidores estão mais exigentes do que nunca e buscam experiências que superem as suas expectativas, indo mesmo até ao fenómeno do deslumbramento (Rodrigues, 2019). Toda esta pressão criada por estes e muitos outros desafios tem levado as empresas e organizações a modernizarem-se, através de *DT*, no sentido de melhor compreenderem, monitorizarem e otimizarem as funções das entidades físicas, da organização, assim como dos processos envolvidos (Saddik, 2018). Desta forma, as empresas e organizações passam a contar com uma visão instantânea e futura do seu comportamento com vantagens na redução de custos, produtividade, antecipação de problemas, otimização de recursos, entre outras. Tudo isto possível através da transmissão de dados entre o mundo físico e virtual (*DT*).

4.1. Oportunidades e casos de uso

Ao longo da história, a indústria tem passado por várias fases, também chamadas de revoluções, desde a sua mecanização, em meados do século XVIII, passando pela produção em massa, automação e hoje com a inclusão de tecnologias como a Internet das Coisas, a Inteligência Artificial, *Big Data*, *Cloud* e Sistemas Ciber-físicos.

É nesta última revolução industrial, a quarta, onde aparecem os *DT*, mais concretamente na parte "Ciber" dos sistemas Ciber-físicos e prometem um enorme potencial e benefício para todo o tipo de indústria, até mesmo para indústrias que, até aqui, pareciam não ter grande afinidade com a digitalização e automação, como é o caso da indústria da construção civil (Kan, 2019). De acordo com Kan et al. (2019), o conceito *Digital Twin* (para massas) já existe desde o ano de 2002 e foi, efetivamente, usado pela primeira vez na indústria aeronáutica. A partir daí, foi sendo adotado por outros setores empresariais, tais como, agricultura, perfuração para extração de fluidos, robótica industrial, logística e cadeia de fornecimento, design de produto, e muitos mais, tendo como base de sucesso as capacidades para suportarem vários casos de uso, tais como:

- Monitorização em tempo real;
- Previsão do ciclo de vida de serviços;
- Garantia de fiabilidade do produto;
- Otimização da qualidade;
- Manutenção melhorada;
- Capacidade de análise;
- Previsão de desempenho futuro;
- Suporte à decisão;
- Planeamento futuro.

Como é notório, as capacidades oferecidas pelos *DT* são comuns à maioria dos setores empresariais, senão todos, o que leva a crer que trarão enorme potencial em toda a cadeia de valor, independentemente do setor alvo, em termos de eficiência de processos, qualidade, segurança, custos e satisfação do consumidor final.

4.2 Aplicações reais

O conceito dos *DT*, apesar de ainda relativamente recente, está hoje já difundido por grande parte do mercado em diferentes setores da economia, seja por aplicações comerciais reais seja através de projetos de investigação. Nesta secção são apresentados alguns desses casos reais.

Aeronáutica



Fotografia de [Brian McGowan](#) disponível em [Unsplash](#)

Fig. 4.1. Digital Twin de motor a jato.

Os *DT*, desde o seu aparecimento, sempre desempenharam um papel preponderante neste sector, desde a missão Apollo 13, onde o simulador/ *Digital Twin* na Terra ajudou a resolver problemas, até às companhias construtoras mais contemporâneas, como é o caso da Rolls Royce. Esta empresa do setor da aviação usa réplicas virtuais dos seus motores a jato e através da inclusão de sensores nos motores reais e de ligações por satélite, a empresa consegue saber, a todo o momento, o comportamento do motor assim como prever momentos para manutenção. Esta informação é crucial para reduzir o tempo de paragem e aumentar a confiabilidade dos motores.

Construção Civil



Fotografia de [Tom Chen](#) disponível em [Unsplash](#)

Fig. 4.2. Digital Twin de uma cidade.

O centro Digital Built Britain é uma parceria entre o Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial (BEIS) inglês e a Universidade de Cambridge com vista a digitalizar todos os ativos construídos por forma a encontrarem soluções para um melhor e mais otimizado uso por parte dos cidadãos.

Parques Eólicos

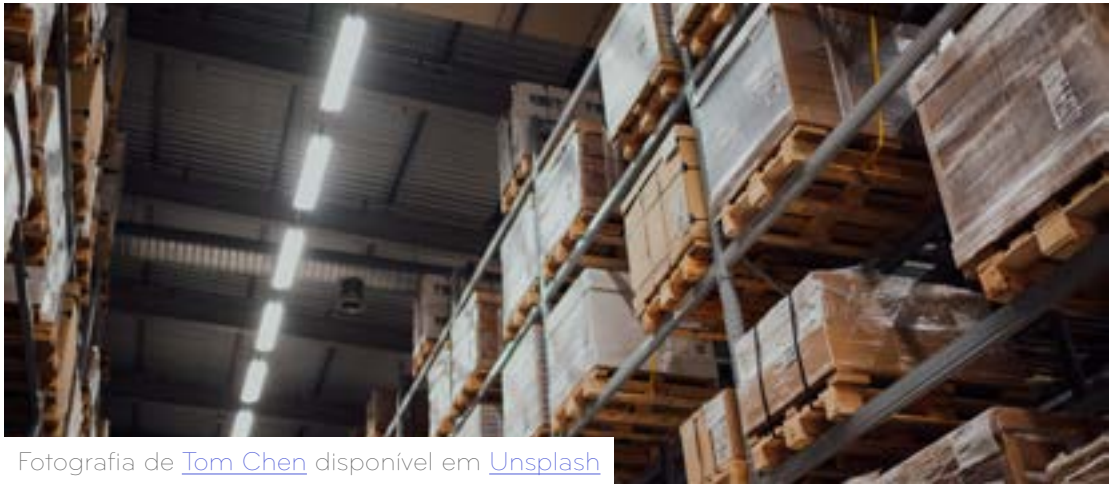


Fotografia de [Appolinary Kalashnikova](#) disponível em [Unsplash](#)

Fig. 4.3. Digital Twin de uma torre eólica.

A empresa multinacional Alemã SAP, conhecida pelas suas soluções de software empresarial para gestão de operações e de relação com os clientes, disponibiliza *DT* para torres eólicas de produção de energia. A solução permite fazer previsão de intervenção e manutenção para além de monitorizar o estado do objeto físico. Para além disto, é possível fazer simulações (para diferentes ângulos em relação ao vento) tendo em vista a produção de energia e a maximização da vida útil da estrutura.

Cadeia de Fornecimento



Fotografia de [Tom Chen](#) disponível em [Unsplash](#)

Fig. 4.4. Digital Twin de cadeia de fornecimento.

A empresa Americana River Logic, que se dedica ao planeamento e suporte à decisão, apresenta vários casos de sucesso entre os quais o de uma empresa gigante Americana de snacks, com cerca de 20 fábricas, mais de 100 linhas de embalagem e mais de 200 distribuidores. Esta empresa estava a dar resposta apenas a 90% dos pedidos do seu produto de maior sucesso. Entre outras vantagens, a solução de *DT* da River Logic permitiu a economia de cerca de 332 mil dólares por semana e a oportunidade de suprir mais encomendas, agora que passou a existir stock suficiente.

Mobilidade

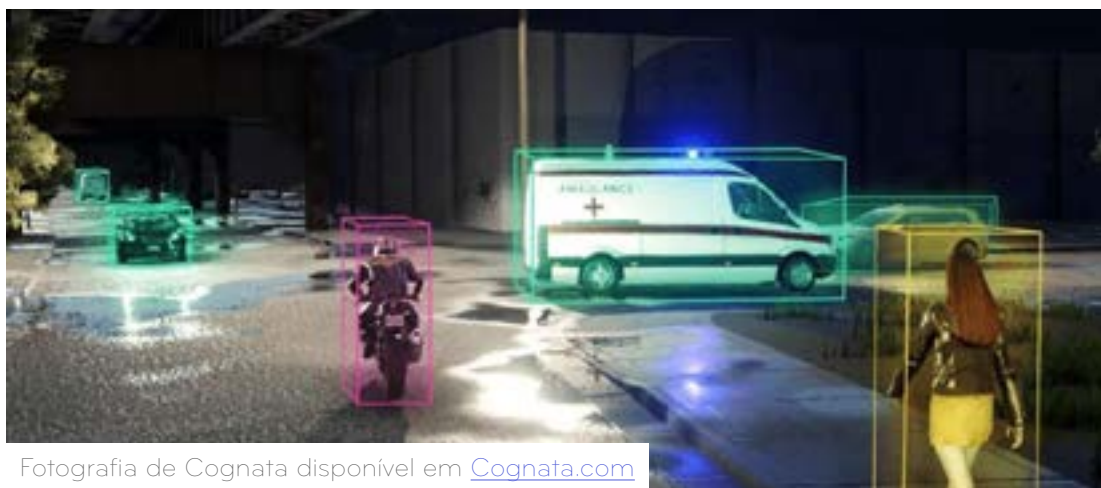


Fotografia de [Obi - @pixel6propix](#) disponível em [Unsplash](#)

Fig. 4.5. Digital Twin de propulsão de carro elétrico.

A empresa Alemã TWAICE usa *DT* para criar soluções para os clientes, ao nível do software de análise preditiva com inteligência artificial, com vista a otimizar o desenvolvimento e operação (performance com o passar dos anos) de baterias de iões de lítio.

Condução autónoma



Fotografia de Cognata disponível em [Cognata.com](https://cognata.com)

Fig. 4.6 *Digital Twin* de veículo autónomo.

A empresa Cognata disponibiliza simulação automóvel para o sistema ADAS (Advanced Driver Assistance System) e para veículos autónomos baseada em *DT*.

Setor petroquímico



Fotografia de [Emmaus Studio](https://www.emmausstudio.com) disponível em [Unsplash](https://www.unsplash.com)

Fig. 4.7. *Digital Twin* de instalação petroquímica

A Royal Dutch Shell tem em curso, até 2024, a criação de um *Digital Twin* para o seu complexo petroquímico em Singapura, com metas esperadas de um aumento em 25% na produtividade, confiabilidade e Segurança, com grande foco na antecipação de possíveis problemas antes destes acontecerem.

Smart building



Fotografia de Microsoft disponível em [technologyrecord.com](https://www.technologyrecord.com)

Fig. 4.8 Microsoft cria *digital twin* em Singapura

A Microsoft lançou um projeto de criação de um *Digital Twin* para a sua filial na Torre Frasers, em Singapura, onde o objetivo principal é monitorizar e otimizar consumos de energia, ruído, espaço, ar condicionado e iluminação.

Estes são apenas alguns exemplos reais do uso de *DT* em diferentes setores empresariais. Dado que este conceito poderá ser aplicado em toda a linha do ciclo de desenvolvimento do produto, e até mesmo durante o uso do produto, muito mais casos reais aparecerão num futuro próximo. Para mais detalhes relacionados com *DT*, sugere-se o vídeo "Siemens: AI and *DT* for Manufacturing (CxOTalk)" indicado na referência (CXOTALK, 2019), com o Dr. Norbert Gaus, responsável pela investigação e desenvolvimento para as áreas de automação e digitalização da Siemens.

4.3. Tendências e expectativas futuras

O sucesso resultante da aplicação do conceito *DT* em empresas multinacionais reputadas, como por exemplo a Rolls Royce, serve, muitas vezes, como acelerador de decisão para muitas outras. Contudo, num artigo de opinião, a PA Consulting (PA Consulting, 2022) relata queixas relativamente aos resultados esperados em relação aos *DT*. Nesse sentido, a PA Consulting alerta para o facto de existirem pelo menos três passos críticos de sucesso que as empresas devem respeitar com vista a tirar real partido dos *DT*, são eles:

- i) perceber muito bem o que os *DT* são e o que não são, assim como as capacidades que oferecem;
- ii) identificar e perceber o problema a resolver com os *DT* e o plano de ação;
- iii) perceber até onde os *DT* podem chegar.

Tendo em conta que a aplicação generalizada dos *DT* ainda está no seu início, prevê-se um futuro animador rumo à maturidade da tecnologia, mas também em relação a novas formas de uso. Por exemplo, a conceituada Gartner, apontou, recentemente, o uso de *DT* não apenas para resolver problemas concretos ou de certos setores, mas sim criar o *Digital Twin* da empresa (ou grupo de empresas) no seu todo (Marc Kerremans, 2021) de governos (Finnerty, 2019) ou até do próprio planeta Terra (Stöcker, 2017). Lheureux et al. (2020), apontam mesmo no sentido de os *DT* e a IoT serem a solução para a recuperação e redução de custos das empresas após pandemia COVID-19.

Todavia, também existem alertas para as boas práticas que os CIOs devem adotar para minimizar o risco de falha nos *DT*. Por exemplo, Goasduff et al. (2018) alertam para alguns desafios chave tais como, o uso de boas práticas (documentação) na construção e modificação dos modelos de suporte usados. Por outro lado, o processo de adoção de soluções baseadas em *DT* deve envolver todos os setores da empresa alvo já que, mais cedo ou mais tarde, poderão aparecer diferentes formas e modelos de realizar determinada atividade que já estaria enraizada na organização. Os mesmos autores alertam também para o facto de a vida dos *DT* ser muitas vezes mais longa do que a das entidades que os criam. Por isso, é muito importante adotar soluções de *DT* não proprietárias, ou seja, baseadas em standards internacionais, com código aberto, etc.

Para além de tudo isto, também existem riscos e dificuldades associados ao uso de *DT*. Em primeiro lugar, a complexidade da solução poderá ter um preço demasiado elevado para determinadas empresas. Por outro lado, quando uma empresa tem robustez financeira suficiente para adotar uma solução baseada em *DT*, adota também determinado tipo de problemas associados. Por exemplo a empresa Royal HaskoningDHV Digital (2022), especializada em tirar partido de dados, alerta para quatro grandes áreas de preocupação:

Acesso ao sistema

Caso alguém estranho tenha acesso ao *Digital Twin* poderá obter dados importantes assim como poder ter acesso e controlo do objeto físico associado.

Roubo de propriedade intelectual

Possibilidade de alguém estranho poder ter acesso às máquinas que suportam a execução do

Digital Twin e fazer engenharia inversa no sentido de reproduzir o *Digital Twin* para venda a empresas concorrentes.

Fora do regulamento de privacidade

Dado que os *DT* lidam com grande quantidade de variedade de dados, é necessário assegurar a compatibilidade com o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD) vigente, o que em certas situações poderá ser difícil de obter.

Integridade de dados

Dada, uma vez mais, a dependência total de dados por parte dos *DT*, todo o sistema de aquisição, interpretação e processamento deverá oferecer garantias fortes de integridade (não modificação accidental ou propositada) dos dados.

Todas estas preocupações não deverão inibir a expansão dos *DT*. Como sempre tem acontecido, quando se dá um passo em frente, ao nível tecnológico, existem sempre (novas) preocupações e ameaças latentes. Cabe-nos a nós, ou a quem depende da tecnologia, desenvolver esforços para anular ou mitigar esse tipo de ameaças.

5. CASOS DE ESTUDO

Exemplos de casos de estudo de startups ligadas à área dos *Digital Twins*, em vários setores de atividade relacionados com empresas portuguesas, brasileiras e europeias e exemplos inspiradores para a construção de modelos. Também é identificada uma estratégia de implementação e o *roadmap* para o *Digital Twins*.

Fotografia de [Onur Binay](#) disponível em [Unsplash](#)

Neste capítulo referem-se casos de estudo de empresas ligadas à área do *DT* nos vários setores de atividade e também são mostrados alguns exemplos inspiradores para a construção de modelos e, por outro lado, é identificada uma estratégia de implementação e o *roadmap* para o *DT*.

5.1. Casos de estudo de empresas portuguesas

Como exemplo, a Altice já está a desenvolver soluções para a [indústria 4.0 baseadas em digital twins](#) que são suportadas pelo 5G. Estas soluções permitem modelar toda a fábrica em 3D e permite fazer análises de processamento e otimizar processos para funcionamento na dimensão física.

✎ A [Virtual Twin](#), uma empresa portuguesa com representação no Brasil também, desenvolve vários trabalhos que envolve as visitas virtuais em vários ambientes (monumentos, [Indústria-refrigeração](#) e [indústria-subestações](#)). ✎



Fotografia de Virtual Twin disponível em virtualtwin.pt

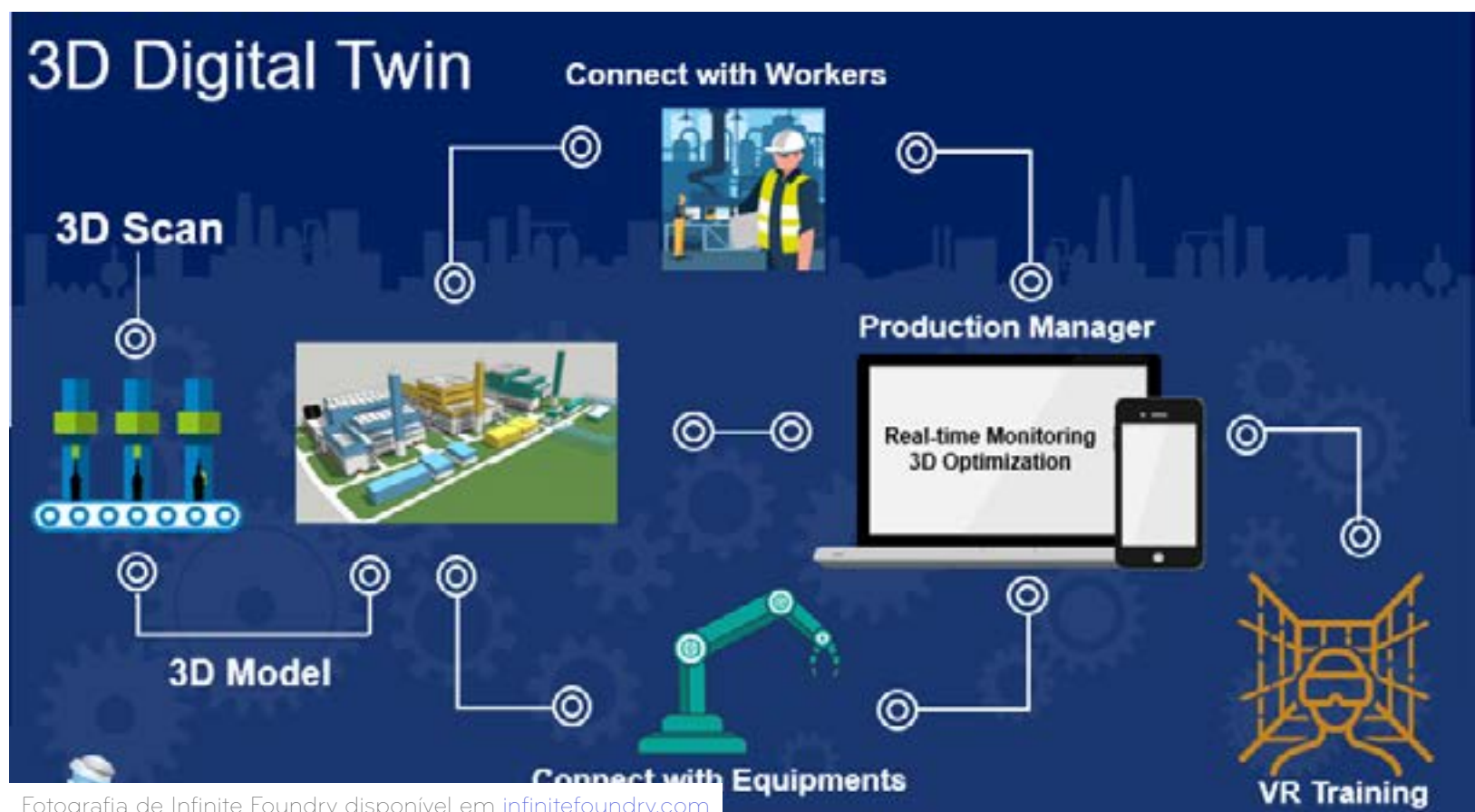


- ✍ A Aura Light Portugal tem o [Digital Twin City](#) que se baseia na construção de um modelo virtual de cidade, suportado por dados recolhidos no momento por uma grande diversidade de sensores. Este modelo virtual permite simular com segurança e de forma antecipada variados tipos de acontecimentos, antevendo todos os problemas gerados com os mesmos.



Fotografia de Aura Light Portugal disponível em [Facebook](#)

- ✍ A [Foundry](#) (Foundry, 2022), com sede em Portugal (Porto) e filial no Brasil (em São Paulo) representa um exemplo de como a Indústria 4.0 é modelada com *DT*. Este exemplo assenta no varrimento 3D, na modelação, na interação com equipamentos e trabalhadores, e na gestão da produção através da monitorização em tempo real e na otimização em 3D (muitas vezes suportada pela realidade virtual). A figura 5.1 apresenta o diagrama geral da indústria 4.0 com a modelação por *DT*.



Fotografia de Infinite Foundry disponível em [infinitefoundry.com](#)

Figura 5.1 Exemplo de diagrama geral da indústria 4.0 com a implementação de *DT*

O trabalho desenvolvido por esta empresa tem 3 fases:

1. Projeto em 3D

Onde é desenvolvido o varrimento de laser no interior de uma parte da indústria para ter um modelo 3D preciso. Este modelo inclui arquitetura, mobiliário e estruturas e equipamento de produção (Figura 5.2).

Figura 5.2 Modelo 3 D construído através do varrimento de laser



Fotografia de Infinite Foundry disponível em infinitefoundry.com

2. Monitorização em 3D da produção

Para fazer a monitorização da produção é ligado o modelo 3D para obter a animação em 3D, do processo de fabrico em tempo real para permitir uma avaliação de possíveis problemas de fabrico (Figura 5.3).

Figura 5.3 Modelo 3 D para monitorização da produção



Fotografia de Infinite Foundry disponível em infinitefoundry.com

3. Optimização operacional em 3D

Simulação de cenários de optimização para melhoria da eficiência operacional e possibilidade de validar estes cenários através de treino que recorre à realidade virtual para uma implementação eficiente (Figura 5.4)

Figura 5.4 Modelo 3 D para monitorização da produção.



Fotografia de Infinite Foundry disponível em infinitefoundry.com

Outros modelos de optimização podem ser consultados em (<https://www.infinitefoundry.com/monitoring/>). 

 A [Cosmotech](#) é uma empresa que tem soluções de DT para a indústria. Para maior detalhe, um [webinar](#) sobre o potencial do DT é apresentado pela empresa Cosmotech.

Outro exemplo no campo da energia é aplicado pela [AT&S](#), onde é mostrado o potencial da utilização do DT. No campo da indústria automóvel, também a aplicação na [Renault](#) permite maximizar o retorno financeiro na produção. A Comotech é membro do [consórcio digital twin](#). Este consórcio tem um glossário muito interessante sobre o tema e pode ser consultado <https://www.digitaltwinconsortium.org/glossary/glossary.html#aggregation>. Também algumas iniciativas deste consórcio podem ser [acedidas](#). 

5.2. Casos de estudo de empresas internacionais

✍ No âmbito internacional, as [5 empresas](#) que estão no top do desenvolvimento de soluções para o *DT* são:

✍ [GE Digital](#)

A [GE Digital oferece soluções de digital twins](#) nos ativos, na rede e nos processos, para as áreas da aviação, petróleo e gás, geração de energia, redes elétricas e operações de fabricação. O software da GE Digital recorre ao *machine learning* e análises avançadas de monitorização de elevadas quantidades de dados industriais (em tempo real), e.g., de sistemas HMI/SCADA, séries temporais, alarmes, eventos, e outros dados obtidos através de sensores em ambiente IoT.

✍ A GE Digital tem um conjunto de [documentação](#) e [vídeo](#) que permite aprender os conceitos básicos de como os modelos de *DT* devem ser construídos, dimensionada a sua implementação nos ativos e sistemas para criar um twin e descobrir as melhores práticas de como obter valor desses twins para prever a degradação do desempenho dos sistemas físicos para melhorar a fiabilidade de todo o sistema.



Fotografia de GE Digital disponível em [ge.com](https://www.ge.com)

[IBM](#)

A IBM oferece vários produtos, incluindo o *DT Exchange IBM*, *design* de sistemas de engenharia IBM e um conjunto de aplicações IBM. As tecnologias da IBM são utilizadas no fabrico de automóveis, a produção de aeronaves, o projeto de carruagens, a construção civil, o fabrico no geral, a engenharia e concessionárias de energia, entre outras.

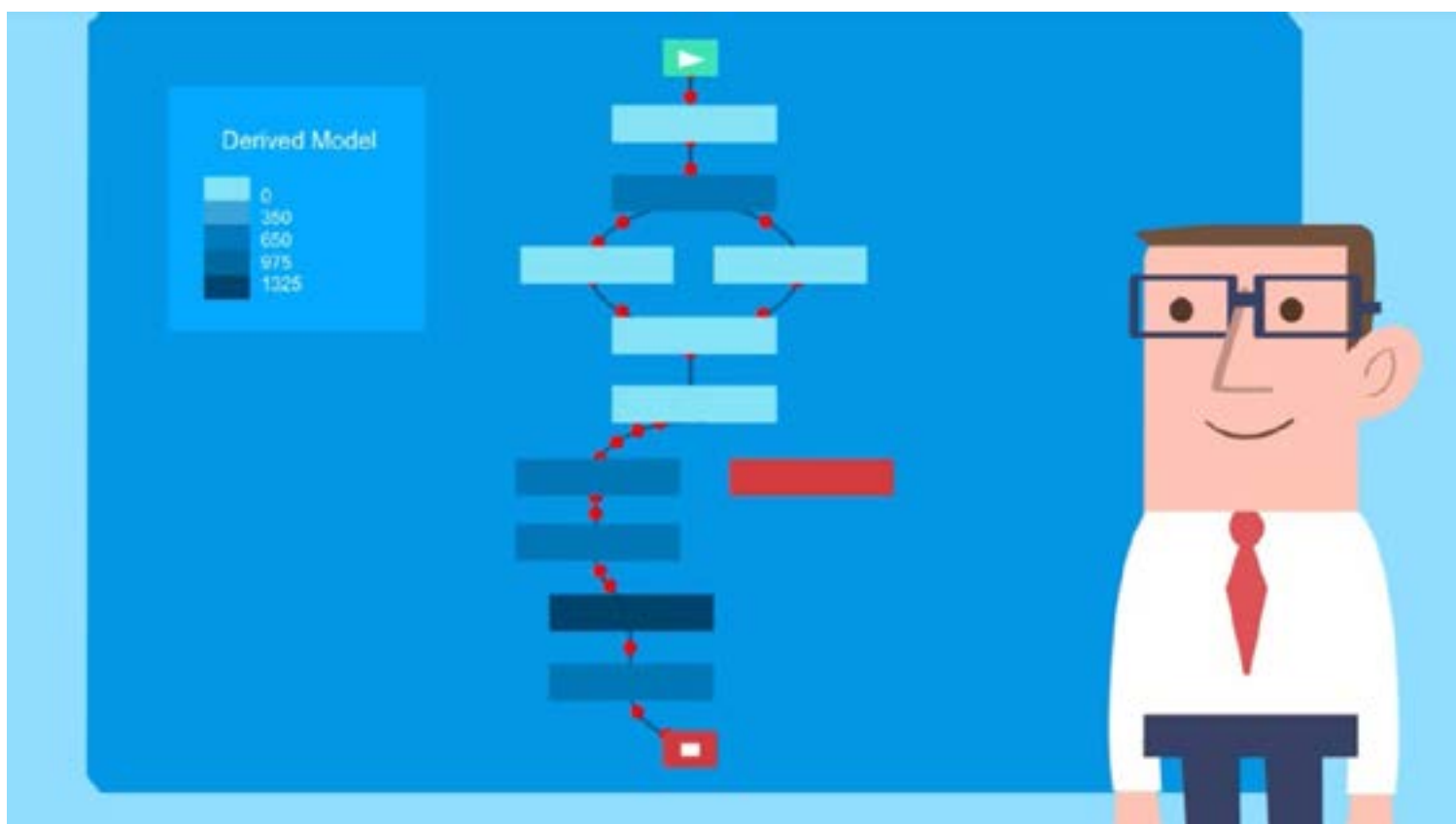
 Um exemplo de produto digital twin, utilizado pela IBM é o [myInvenio \(Process Mining\)](#) que ajuda a descobrir e analisar os processos de uma empresa no mundo real.



Fotografia de IBM disponível em ibm.com



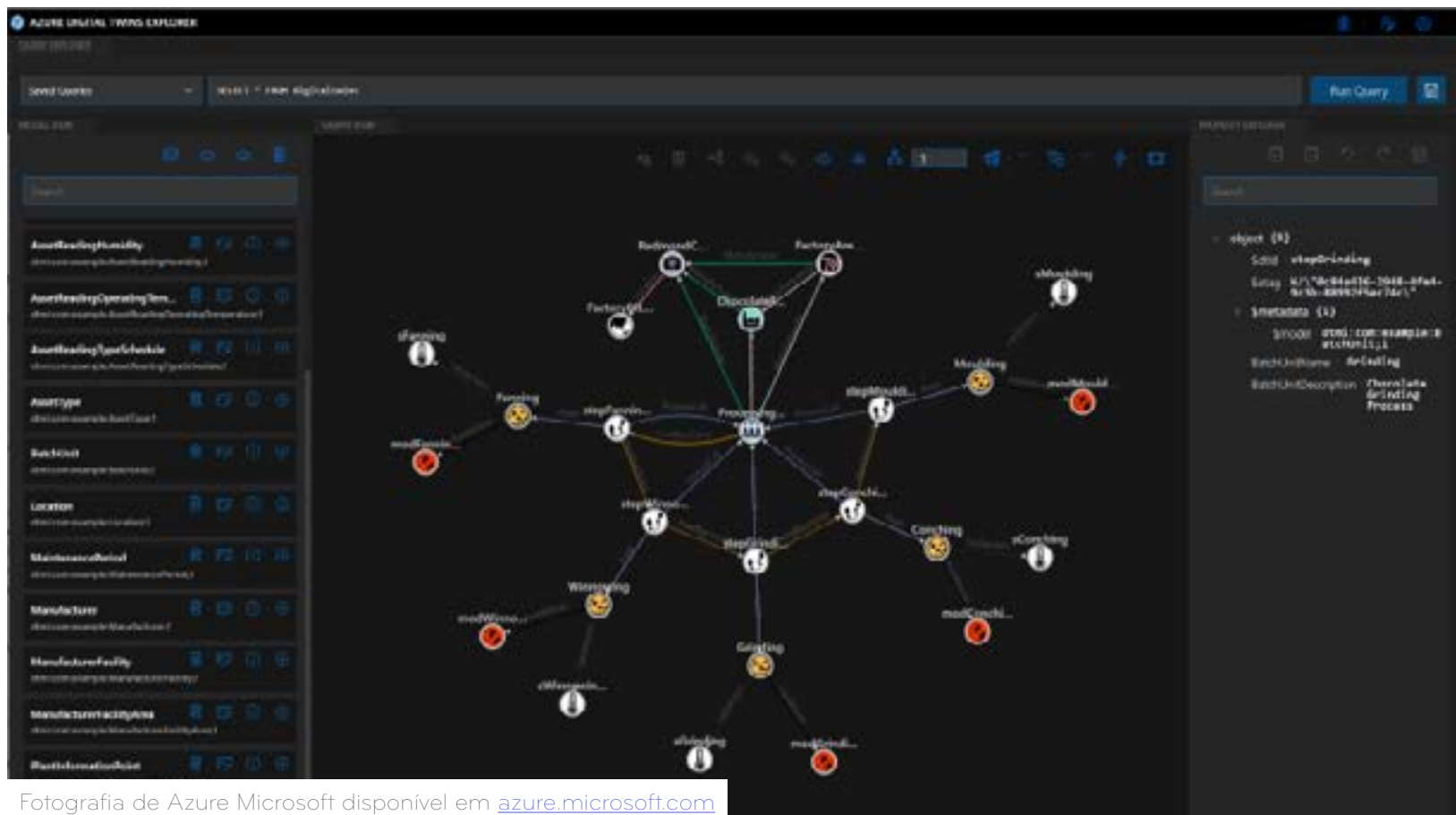
Fotografia de IBM disponível em ibm.com



Disponível em [Youtube](https://www.youtube.com/watch?v=...)

MICROSOFT

-  A Microsoft Corp. oferece o [Azure Digital Twin](https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/digital-twins/), com uma solução de IoT de última geração que auxilia na criação de representações digitais de processos corporativos, lugares, edifícios, agricultura, pessoas, etc.. Por outro lado, também contribui para o desenvolvimento de soluções para otimização de operações e custos com previsão de acontecimentos a nível industrial.



Fotografia de Azure Microsoft disponível em azure.microsoft.com



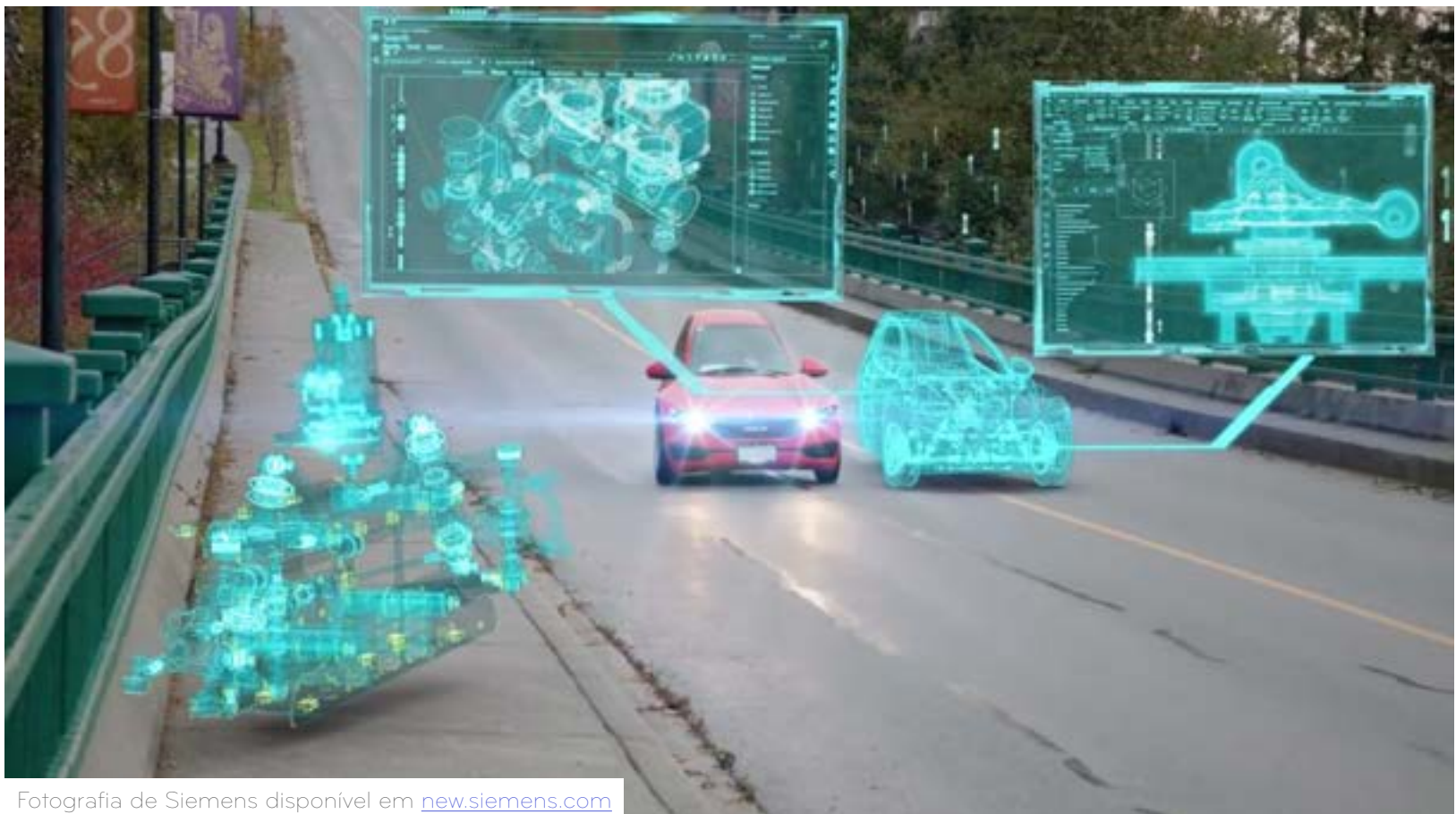
Disponível em [Youtube](https://www.youtube.com/watch?v=...)

SIEMENS

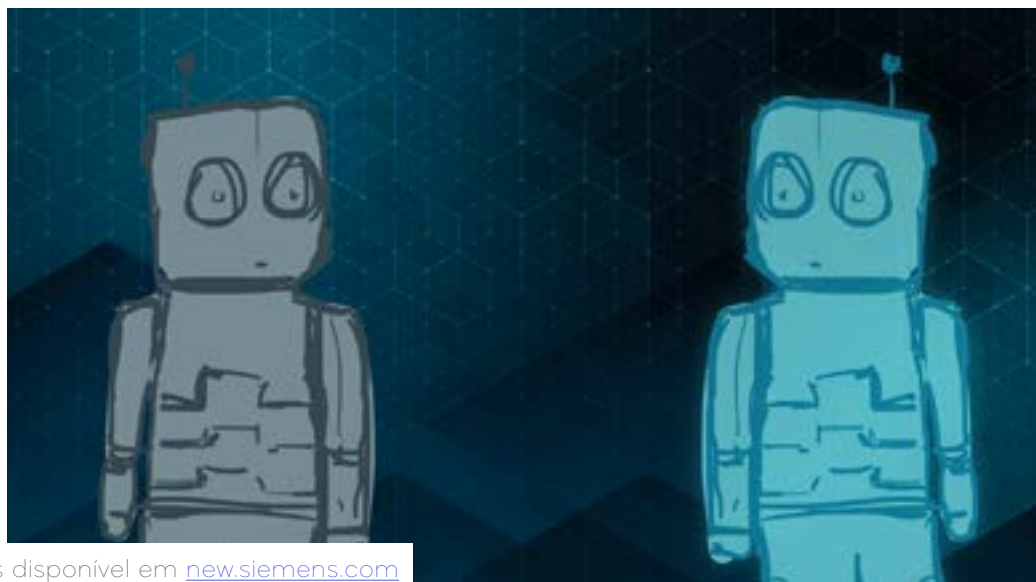
A Siemens AG oferece Plataforma de *DT* que dá suporte ao desenvolvimento de novos produtos e fornece uma ligação digital virtual que permite que os clientes possam avaliar o funcionamento dos produtos, dando suporte no fabrico e planeamento da produção.

Por outro lado, os dados operacionais são obtidos, analisados e executados para avaliar o desempenho da empresa.

Os sensores instalados nos objetos físicos avaliam as condições de operação e desempenho em tempo real e a ocorrência de variações ao longo do tempo. Por exemplo, as soluções de localização em tempo real da Simatic foram introduzidas pela Siemens AG (RTLS). Estas soluções incorporam o software SieTrace, que permite fornecer dados de localização em tempo real.



Fotografia de Siemens disponível em new.siemens.com



Animação de Siemens disponível em new.siemens.com

 [ANSYS Inc.](#)

O produto de *DT* disponibilizado pela ANSYS Inc. permite criar protótipos virtuais de sistemas do mundo real. O Ansys twin builder é a solução da empresa que permite auxiliar na criação com base em simulações, permitindo melhorar a produtividade, criar um protótipo virtual de um sistema implantado, integrar dados do mundo real e gerir ativos complexos. Algumas aplicações da empresa incluem eletrônica de potência, sistemas gás-líquido, motores elétricos, controle de poluição e de permutadores de calor.

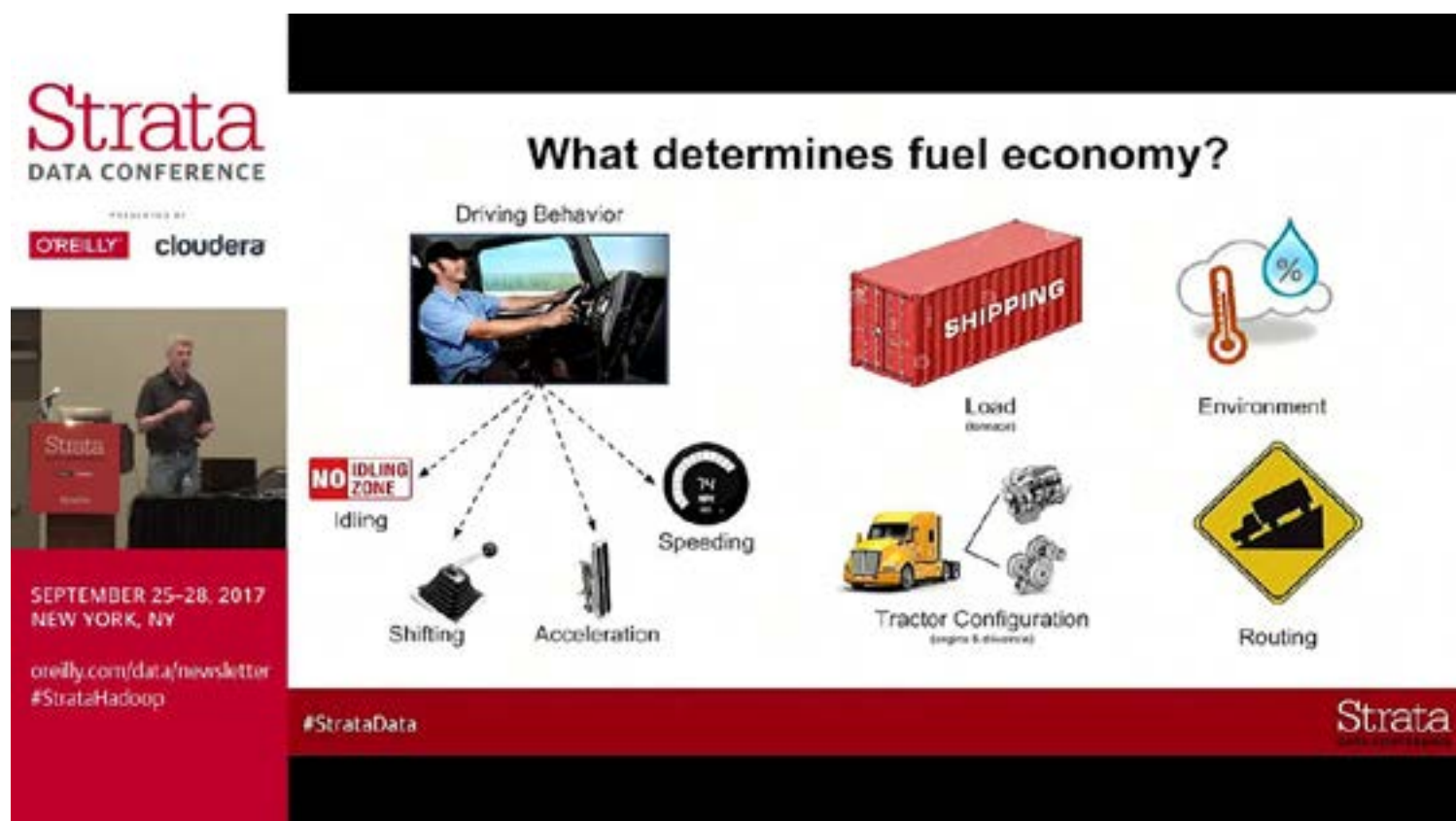
As especializações da empresa incluem prototipagem digital, otimização de projeto, simulação de engenharia e análise estrutural.



5.3. Vídeos inspiradores para a construção de modelos de digital twin

Nesta secção são apresentados alguns vídeos inspiradores para a construção de modelos digital twin.

-  O vídeo da [Vnomics Corp.](#) apresentado pelo Lloyd Palum explica como construir um modelo *DT* e com os conceitos essenciais para a sua construção



-  O vídeo do [Kai Waehner](#) apresenta como é que a arquitetura de IoT pode ser integrada nos modelos de *DT* com Apache Kafka.



- ✍ O vídeo do Javier Marin apresenta um tutorial sobre [como criar um Digital Twin em Python](#) de forma simples, mas funcional. Este exemplo baseia-se numa bateria de iões de Lítio. Este modelo permite analisar e prever o comportamento da bateria, podendo ser integrado num sistema visual virtual.

```
#Define inputs and outputs
```

```
# input: the simulation capacity
```

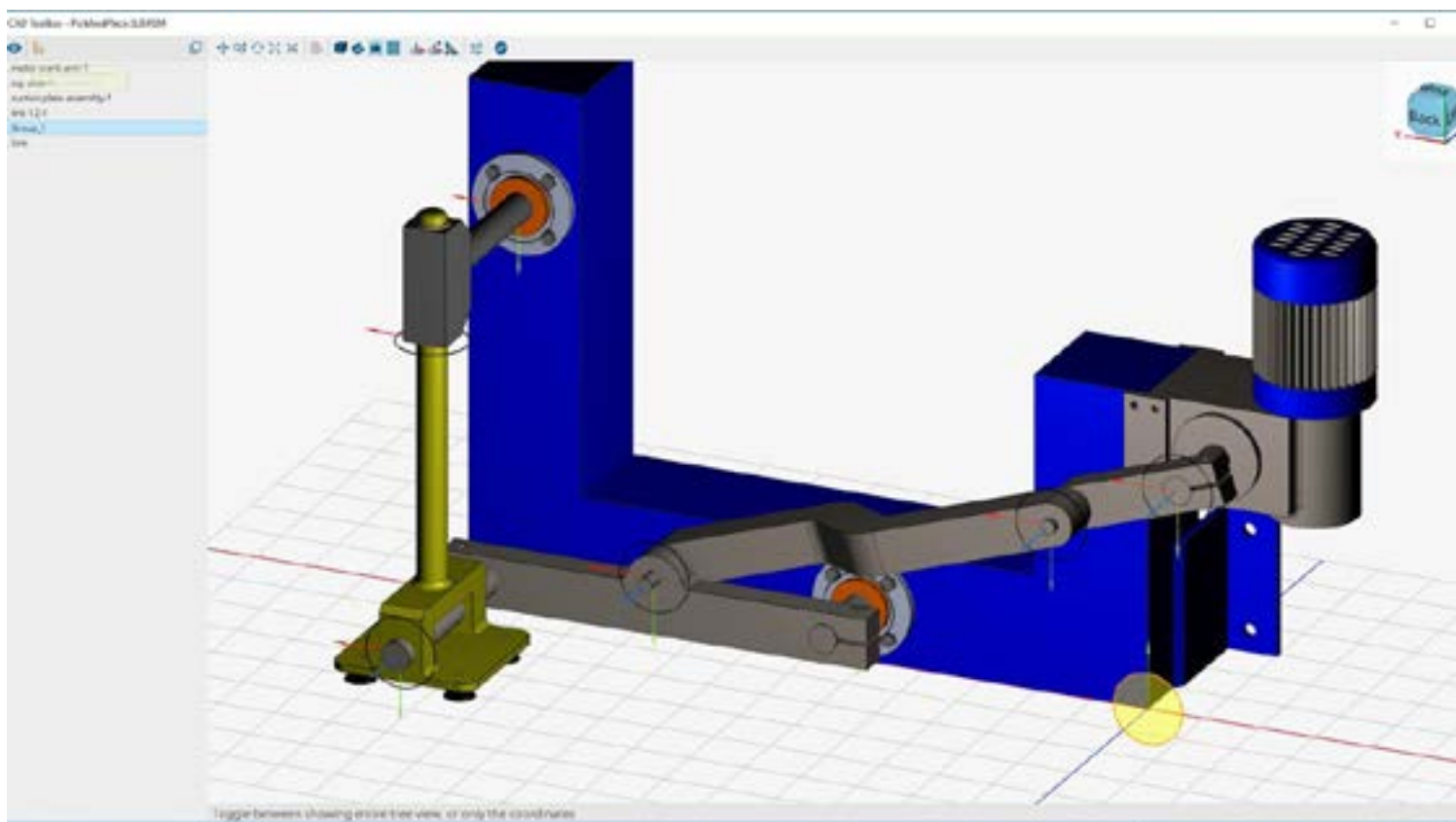
```
X_in = (dfb['C. Capacity'])
```

```
# output: difference between experimental values and simulation
```

```
X_out = (dfb['Capacity']) - (dfb['C. Capacity'])
```

```
X_in_train, X_in_test, X_out_train, X_out_test = train_test_split(X_in, X_out, test_size=0.33)
```

- ✍ Um conjunto de passos essenciais para criar um digital twin são apresentados pela VirtualComissioning.com, suportados por ferramenta CAD [para a construção do modelo e análise do modelo digital](#).



- ✍ Uma [ferramenta como a WRLD](#) permite qualquer pessoa possa construir modelos de digital twin de forma rápida e fácil, recorrendo a SDKs, APIs e serviços inteligentes de localização. Estas ferramentas contêm mapas 3D permitindo criar ambientes virtuais internos e externos, em que os dados obtidos através de sensores, sistemas, dispositivos móveis e serviços de localização podem ser visualizados com elevada precisão.



5.4. Definir a estratégia e o *roadmap* para a implementação do *digital twins*

✍ Nesta seção pretende-se definir uma [estratégia para a implementação do digital twins](#). O número de casos e o detalhe dos produtos de uma dada empresa pode ser um desafio para a implementação do *DT*. A possibilidade das empresas poderem analisar tendências e medir ocorrências através do *DT* pode beneficiar os processos produtivos, com análise da simulação antes da sua implementação em contexto industrial.

Com os *DT*, os processos e dados de objetos reais são diretamente associados à sua representação virtual, fornecendo um fluxo constante de dados, que são usados para prever, simular e fornecer indicadores úteis. Portanto, há uma clara dependência de domínio entre os *DT* e as suas contrapartes físicas. Por forma a gerar resultados relevantes para a área onde serão implementados, é necessário definir estratégias efetivas que envolvam diversas etapas.

Tabela 3.2. Roadmap

ETAPAS	DESCRITIVO
Objetivos	Definir os objetivos pretendidos para a modelação através do digital, identificando as melhores práticas e tendências para o <i>DT</i> .
Avaliação e priorização dos elementos físicos e virtuais	Depois da definição dos objetivos é necessário fazer uma avaliação e definir a priorização dos elementos físicos e virtuais que compõem um sistema <i>DT</i> , considerando os objetivos.
Plano de Implementação	Após a definição dos objetivos é essencial definir um plano de implementação . Também é importante verificar o nível mínimo de sofisticação do modelo que possa gerar valor para a organização, (tipicamente, considerando tempos de desenvolvimento baixos e um retorno de investimento rápido). De preferência ter um modelo de <i>DT</i> modular com um crescimento sustentável e que possa ir crescendo, mas gerando valor ao longo do tempo. Como conselho, não é eficaz pretender desenvolver um sistema muito complexo porque, geralmente, traduz-se em elevados tempos de desenvolvimento e quando está pronto para utilização corre-se o risco de aparecer outra solução no mercado.
Realização de testes por terceiros	É essencial para a avaliação da funcionalidade e da integração do sistema, por forma a que possam ser desenvolvidos ajustes antes de disponibilizar o produto para o cliente.

ETAPAS	DESCRIPTIVO
Avaliação dos pontos fortes	Considere, e.g., a metodologia de desenvolvimento, governança, estratégia de dados, processos de negócios e complexidade do sistema.
Recursos humanos especializados	O acesso a talentos e capacidades apropriados e garantir a formação adequada dos técnicos faz a diferença para o sucesso da implementação do <i>DT</i> .
Planeamento passo a passo	É essencial para ser possível desenvolver um produto minimamente viável que possa ser considerado para testes. Após ter este produto, é essencial retirar o <i>feedback</i> essencial e poder verificar se este está de acordo com os requisitos iniciais e proceder às modificações/melhorias de acordo com os objetivos iniciais.

Como resumo é fundamental que proceda à optimização e implementação do *DT*, de acordo com a análise feita ao **produto minimamente viável** e defina uma estratégia (interna e externa) de formação e recrutamento para o desenvolvimento do *DT* de acordo com os objetivos iniciais, ou mesmo a sua generalização com a adoção de mais módulos complementares para maximizar o desempenho.

Glossário

- **Digital Twin**

É uma cópia virtual, ou gêmeo digital de uma entidade do mundo físico/real, a qual está atualizada em tempo real através de sensores.

- **Simulações**

São modelações digitais de produtos ou processos para realização de testes, no entanto não tem informações em tempo real do produto real ou físico.

- **Internet of Things (IoT)**

A Internet das Coisas descreve uma rede de comunicação de objetos físicos através da utilização de sensores e atuadores que permitem interagir com o meio físico e disponibilizar essa informação com outros equipamentos na Internet.

- **Inteligência Artificial**

Refere-se a sistemas ou máquinas que imitam a inteligência humana ao realizar tarefas e melhoram interactivamente com base nas informações que recolhem.

- **Manutenção Preventiva**

São ações ou tarefas de manutenção planeadas que previnem que defeitos e falhas ocorram em equipamentos ou máquinas antes que elas ocorram.

- **Manutenção Corretiva**

São ações ou tarefas de manutenção não planeadas e que são realizadas após a verificação de defeitos ou falhas em equipamentos ou máquinas.

- **Chão de fábrica**

É o local onde estão os funcionários, máquinas e estruturas, e são realizados todos os processos industriais.

- **Transformação Digital**

É uma ação de transformação em empresas e organizações de forma a introduzir ou aumentar a utilização de tecnologias digitais para solucionar problemas e modernizar os processos.

- **Indústria 4.0**

Refere-se à quarta revolução industrial e que representa a integração de diferentes tecnologias digitais aos processos industriais, tais como a inteligência artificial, internet das coisas, robótica, *cloud computing*.

- **Machine Learning**

Uma subárea da inteligência artificial que permite melhorar o funcionamento das máquinas através da experiência e da utilização de dados recolhidos.

- **Monitorização**

É um processo físico ou virtual que realiza ações de vigilância em determinados valores que podem ser medidos ou avaliados em sistemas ou máquinas, auxiliando os administradores sobre o estado de saúde das suas estruturas.

- **Ciclo de vida**

É o conjunto de processos que ocorrem desde o desenho de um produto até ao seu fim de vida.

- **Virtual Reality (VR)**

É uma experiência simulada, real ou imaginária, que utiliza modelação computadorizada, visão tridimensional artificial e outros equipamentos sensoriais para interagir com um ser humano.

- **Augmented Reality (AR)**

É uma experiência interativa onde os objetos existentes no mundo real são melhorados ou modificados através da utilização de elementos digitais visuais, auditivos ou sensoriais apresentados através de dispositivos tecnológicos.

- **Fiabilidade**

Representa o grau de confiança que se tem sobre o desempenho de um determinado sistema ou máquina.

- **Previsão**

Capacidade de prever que um determinado acontecimento vai acontecer.

- **Eficácia**

Capacidade de realizar uma determinada tarefa ou ação num determinado grau de satisfação ou de expectativa.

- **Métricas**

São medidas quantificáveis de desempenho que permitem analisar ou avaliar o resultado de uma tarefa, processo ou ação.

- **Desempenho**

É a avaliação de uma determinada tarefa, processo ou ação utilizando medidas quantificáveis (métricas)

- **Modelo de Negócio**

Visão integrada do processo de identificação e utilização de recursos, competências e parcerias, para criar e entregar valor aos seus clientes e acionistas.

Referências

Benoit Lheureux, A. V. (2020). How Can We Use IoT and *Digital Twins* to Reduce Costs After the COVID-19 Lockdown? (Gartner, Ed.) Obtido em fevereiro de 2022, de <https://www.gartner.com/en/documents/3988120/how-can-we-use-iot-and-digital-twins-to-reduce-costs-aft>

Bom, L. T. (2019). Competitividade e produtividade. (J. d. Negócios, Ed.) Obtido em fevereiro de 2022, de <https://www.jornaldenegocios.pt/opiniao/colunistas/luis-todo-bom/detalhe/competitividade-e-produtividade>

Brossard, M., Chaigne, S., Corbo, J., Mühlreiter, B., & Stein, J. P. (2022). *Digital twins: The art of the possible in product development and beyond*. (M. O. Practice, Ed.) Obtido em 05 de 2022, de <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/digital-twins-the-art-of-the-possible-in-product-development-and-beyond>

Cognata. (2021). Simulating Agriculture. Obtido em fevereiro de 2022, de <https://www.cognata.com/introducing-a-new-digital-twin-scene-paris-france/>

CXOTALK. (2019). Siemens: AI and *Digital Twins* for Manufacturing (CxOTalk). (Youtube, Ed.) Obtido de <https://youtu.be/2XAXKNcsb1M>

Deloitte. (2017). Industry 4.0 and the *digital twin*. Obtido em fevereiro de 2022, de <https://www2.deloitte.com/cn/en/pages/consumer-industrial-products/articles/industry-4-0-and-the-digital-twin.html>

Digital Twin Consortium®. (2022). Definition of a *Digital Twin*. Obtido em fevereiro de 2022, de <https://www.digitaltwinconsortium.org/initiatives/the-definition-of-a-digital-twin.htm>

El Saddik, A. (2018). Digital twins: The convergence of multimedia technologies. *IEEE multimedia*, 87-92.

European Commision. (2022). A Europe fit for the digital age. Obtido em 05 de 2022, de https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age_en

European Commission. (2021). Destination Earth. Obtido em fevereiro de 2022, de <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/destination-earth>

European Commission. (2022). A European Green Deal. Obtido em 05 de 2022, de https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

Finnerty, B. (2019). Governments Are Developing a Unique Kind of *Digital Twin*. (Gartner, Ed.) Obtido em fevereiro de 2022, de <https://www.gartner.com/en/documents/3976081/governments-are-developing-a-unique-kind-of-digital-twin>

Gartner. (2019). Gartner Top 10 Strategic Technology Trends For 2020. Obtido de <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2020>

Gelernter, D. (1993). *Mirror worlds: Or the day software puts the universe in a shoebox... How it will happen and what it will mean*. Oxford University Press.

Gelernter, D. (1993). *Mirror worlds: Or the day software puts the universe in a shoebox... How it will happen and what it will mean*. Oxford University Press.

Goasduff, L. (2018). Confront Key Challenges to Boost *Digital Twin* Success. (Gartner, Ed.) Obtido em fevereiro de 2022, de <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/confront-key-challenges-to-boost-digital-twin-success>

Grieves, M., & Thomas, F. (2015). *Digital Twin* Manufacturing Excellence Through Virtual Factory Replication. (Youtube, Ed.) Obtido em fevereiro de 2022, de <https://youtu.be/Mu68ZcJ66x4>

Kan, C. a. (2019). *Digital twins* as the next phase of cyber-physical systems in construction. *Computing in civil engineering 2019: Data, sensing, and analytics* (pp. 256-264). American Society of Civil Engineers Reston, VA.

Leng, J. a. (2021). *Digital twins-based* smart manufacturing system design in Industry 4.0: A review. *Journal of manufacturing systems*. 60, pp. 119-137. Elsevier.

Lo, C. a. (2021). A review of *digital twin* in product design and development. *Advanced Engineering Informatics*. 48, p. 101297. Elsevier.

Marc Kerremans, D. M. (2021). Quick Answer: What Is a *Digital Twin* of an Organization? (Gartner, Ed.) Obtido em fevereiro de 2022, de <https://www.gartner.com/en/documents/4004172/quick-answer-what-is-a-digital-twin-of-an-organization>

Mevea. (2018). How can *Digital Twin* technology improve your business? - *Digital Twin* explained. (Youtube, Ed.) Obtido em fevereiro de 2022, de <https://youtu.be/fEl5oz33la8>

Microsol Resources. (2021). What is *Digital Twin*? (Youtube, Ed.) Obtido em fevereiro de 2022, de <https://youtu.be/6OeCpw0Toy4>

PA Consulting. (s.d.). The power of two: realising the opportunity of *Digital Twins*. Obtido em fevereiro de 2022, de <https://www.paconsulting.com/insights/the-power-of-two-realising-the-opportunity-of-digital-twins/>

Panetta, K. (2017). Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2018. (Gartner, Ed.) Obtido em fevereiro de 2022, de <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2018>

Rodrigues, V. (2019). Customer Delight em Serviços: Antecedentes e Impactos na Cocriação de Valor entre Cliente e Prestadores. Dissertação Mestrado em Gestão de Serviços, Faculdade de Economia da Universidade do Porto.

SAP Digital Supply Chain. (2020). *Digital twins* and the future of Industry 4.0. (Youtube, Ed.) Obtido em fevereiro de 2022, de https://youtu.be/Szjz_4QY628

Siemens. (2019). Why *digital twins* will be the backbone of industry in the future. (Youtube, Ed.) Obtido em fevereiro de 2022, de <https://youtu.be/ObGhB9CCHP8>

Singh, M. a. (2021). *Digital twin*: origin to future. Applied System Innovation. 4, p. 36. Multidisciplinary Digital Publishing Institute.

Stöcker, C. (2017). Space-based "*Digital Twin*" of Earth Brings Affordable Insights, and Web Connectivity, to the Other Seven Billion of Us. Obtido em fevereiro de 2022, de <https://cstoecker.medium.com/space-based-digital-twin-of-earth-brings-affordable-insights-and-web-connectivity-to-the-other-83428572b92a>

Tao, F. a. (2019). Five-dimension *digital twin* model and its ten applications. Computer integrated manufacturing systems, 25, pp. 1-18.

Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., & Sui, F. (2018). *Digital twin* in industry: State-of-the-art. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2405-2415.

Twaice. (2019). THIS SOFTWARE DETERMINES HOW HEALTHY EXPENSIVE BATTERIES STILL ARE. Obtido em fevereiro de 2022, de <https://twaiice.com/this-software-determines-how-healthy-expensive-batteries-still-are/>

Wagner, R. a. (2019). Challenges and potentials of *digital twins* and industry 4.0 in product design and production for high performance products. Procedia CIRP. 84, pp. 88-93. Elsevier.

Wang, K.-J., Lee, T.-L., & Hsu, Y. (2020). Revolution on *digital twin* technology—a patent research approach. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 4687-4704.

Fotografias

Fotografia de [macrovector](#) disponível em [freepik](#)
Fotografia de [Josh Hild](#) disponível em [Unsplash](#)
Fotografia de [Brian McGowan](#) disponível em [Unsplash](#)
Fotografia de [Tom Chen](#) disponível em [Unsplash](#)
Fotografia de [Appolinary Kalashnikova](#) disponível em [Unsplash](#)
Fotografia de [Tom Chen](#) disponível em [Unsplash](#)
Fotografia de [Obi - @pixel6propix](#) disponível em [Unsplash](#)
Fotografia de [Tom Chen](#) disponível em [Unsplash](#)
Fotografia de [Obi - @pixel6propix](#) disponível em [Unsplash](#)
Fotografia de Cognata disponível em [Cognata.com](#)
Fotografia de [Emmaus Studio](#) disponível em [Unsplash](#)
Fotografia de Microsoft disponível em [technologyrecord.com](#)
Fotografia de [Onur Binay](#) disponível em [Unsplash](#)
Fotografia de Virtual Twin disponível em [virtualtwin.pt](#)
Fotografia de Aura Light Portugal disponível em [Facebook](#)
Fotografia de Infinite Foundry disponível em [infinitefoundry.com](#)
Fotografia de Infinite Foundry disponível em [infinitefoundry.com](#)
Fotografia de Infinite Foundry disponível em [infinitefoundry.com](#)
Fotografia de Infinite Foundry disponível em [infinitefoundry.com](#)
Fotografia de GE Digital disponível em [ge.com](#)
Fotografia de IBM disponível em [ibm.com](#)
Fotografia de Azure Microsoft disponível em [azure.microsoft.com](#)
Fotografia de Siemens disponível em [new.siemens.com](#)

Figuras

[Fig. 1.1. Figura de SumitAwinash disponível em WIKIMEDIA COMMONS.](#)
[Fig. 1.2. Figura de Wilmjakob disponível em WIKIMEDIA COMMONS.](#)
[Fig. 1.3. Digital Twin de 5 entidades, baseado em Tao et al. \(Tao F. a., 2019\).](#)
[Fig. 1.4. Vantagens dos Digital Twins.](#)
[Fig. 1.6. A evolução dos Digital Twins.](#)
[Fig. 2.1. Tipos de Digital Twins](#)
[Fig. 2.2. Caraterísticas dos Digital Twins.](#)
[Fig. 2.3. Caraterísticas dos Digital Twins.](#)
[Fig. 2.4. Simulações vs. Digital Twins](#)
[Fig. 3.1. Ciclo de vida de um produto físico e digital](#)
[Fig. 3.1. Ciclo de vida de um produto físico e digital](#)
[Fig. 4.1. Digital Twin de motor a jato.](#)
[Fig. 4.2. Digital Twin de uma cidade.](#)
[Fig. 4.3. Digital Twin de uma torre eólica.](#)
[Fig. 4.4. Digital Twin de cadeia de fornecimento.](#)
[Fig. 4.5. Digital Twin de propulsão de carro elétrico.](#)
[Fig. 4.6 *Digital Twin* de veículo autónomo.](#)
[Fig. 4.7. Digital Twin de instalação petroquímica](#)
[Fig. 4.8 Microsoft cria *digital twin* em Singapura](#)
[Figura 5.1 Exemplo de diagrama geral da indústria 4.0 com a implementação de *DT*](#)
[Figura 5.2 Modelo 3 D construído através do varrimento de laser](#)
[Figura 5.3 Modelo 3 D para monitorização da produção](#)
[Figura 5.4 Modelo 3 D para monitorização da produção.](#)

Tabelas

[Tabela 3.1. Vantagens na utilização de digital twin na indústria 4.0](#)
[Tabela 3.2. Roadmap](#)

AUTORES

António Pereira,
Luis Frazão,
Nuno Costa,
Nuno Rodrigues e
Pedro Sebastião

**ENTIDADE
PROMOTORA**

IAPMEI, Agência para a Competitividade e Inovação, I.P.
Departamento de Empreendedorismo e Financiamento
Departamento de Valorização e Capacitação Empresarial

**COORDENAÇÃO &
REVISÃO**

AUDAX – Centro de Inovação e Empreendedorismo do ISCTE-IUL
Augusto Albuquerque

DESIGN GRÁFICO

I AM - The Creative House

DATA DE EDIÇÃO

Maio de 2022

COPYRIGHT

2022, IAPMEI

CONCEÇÃO

audax _iscte



IAPMEI

ISBN: 978-972-8191-60-3

cofinanciado por



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Social Europeu