

Indústria 4.0

Luís Pinto, Filipa Pereira, Carolina Santejo, and Raquel Costa

Universidade do Minho, Departamento de Informática
Braga, Portugal

Abstract. A indústria tem sofrido cada vez mais mudanças ao longo do tempo. Aliada à evolução da tecnologia, esta área tem-se desenvolvido rapidamente o que motivou o surgimento da quarta revolução industrial. Neste artigo será desenvolvido o tópico da Indústria 4.0, sendo que inicialmente será feita uma breve contextualização histórica. Sendo assim, serão abordados temas importantes desta área como os seus pilares tecnológicos, impactos, aplicações e ainda a forma como as empresas se tem adaptado às mudanças. Por fim, visto que a indústria é um domínio em constante evolução, discutir-se-á o que é de esperar para o futuro deste ramo.

Keywords: Indústria · IoT · Sistemas Ciber-Físicos · Interação Humano-Máquina · Automação · Smart Factories · Big Data · Sensorização · Agentes Inteligentes

1 Introdução

A constante evolução tecnológica tem acompanhado cada vez mais a sociedade. Em particular, setores como a Indústria não tem ficado para trás, desenvolvendo-se e sofrendo diversas revoluções industriais durante os últimos séculos.

Esta rápida transição de paradigmas tecnológicos traz, no entanto, associada a si algumas questões. Deste modo, pretendemos que o presente artigo seja elucidativo, na medida em que exploramos o progresso da indústria até chegarmos ao estado da arte. É inegável que a tecnologia assume um papel preponderante numa revolução industrial de modo a acompanhar as crescentes necessidades da população. Contudo, a adaptação à era digital por parte das empresas não é instantânea, sendo necessário introduzir estas tecnologias de um modo gradual. Hoje em dia, uma empresa que não se saiba adequar às ferramentas disponibilizadas nos tempos modernos sofrerá uma desvantagem competitiva a nível do mercado, daí a necessidade quase obrigatória de ponderar adotar os princípios inerentes à indústria 4.0. Por conseguinte, neste artigo científico serão apresentados vários exemplos de empresas atuais que deram o salto em direção a era digital e se encontram na vanguarda da inovação.

Desta forma a 4IR (*Fourth Industrial Revolution*), pressupõe a integração de soluções digitais, serviços e ferramentas de produção inovadoras compatíveis com os princípios das uma fábrica inteligente.

2 Evolução da Indústria

Se há algo que podemos afirmar, é que a História não é estática. A Humanidade, desde os tempos primórdios, tem sofrido constantes transformações que tiveram impactos sociais e económicos bastante significativos. Ora, a verdade é que estas transformações tiveram (e têm) a sua origem no aparecimento de novas tecnologias e de novas fontes de energia, sendo ambas revolucionárias para a realidade do seu tempo.

É inegável, que as revoluções industriais foram acontecimentos de extrema importância, sendo que estas mudaram por completo a forma de pensar, agir e produzir da sociedade. Assim sendo, ao longo deste tópico, iremos abordar as quatro grandes revoluções industriais.

2.1 Revolução 1.0

A primeira revolução industrial teve início no século 18 e marcou a transição da agricultura para a indústria [11]. Os processos de produção, outrora morosos e manuais, tornaram-se mecanizados, rápidos e eficientes com a introdução das máquinas a vapor e a carvão. Este aumento da escalabilidade de produção levou a que pequenos negócios com um número limitado de clientes se transformassem em grandes empresas capaz de servir um número muito superior de pessoas.

2.2 Revolução 2.0

A segunda revolução industrial iniciou em meados do século 19 e teve como principal origem a descoberta da eletricidade [12,14]. Durante este período, foram introduzidas na indústria, máquinas elétricas e a gás, que ao contrário das máquinas a vapor e a carvão, eram mais sofisticadas, exigiam menos esforço de uso e consumiam menos recursos. Esta segunda revolução ficou conhecida por revolução tecnológica, dado que foi nessa época que se deu a invenção do telefone, do rádio e do automóvel. É também de realçar que durante a segunda revolução industrial, ocorreu o fenómeno da produção em massa que foi possível com a utilização dos modelos de organização e produção industrial elaborados por *Henry Ford* e *Frederick Taylor*.

2.3 Revolução 3.0

A terceira revolução industrial despoletou no período pós segunda guerra mundial e marcou o início da primeira era dos computadores. A utilização de dispositivos eletrónicos e das tecnologias da informação, bem como o surgimento da *internet* permitiram que o processo de produção se tornasse ainda mais automatizado e eficaz. No entanto, é de realçar que estes processos de produção

não eram totalmente autônomos na medida em que ainda era necessário a intervenção humana. Além disto, a terceira revolução industrial ficou marcada pela descoberta de uma nova fonte de energia: a energia nuclear. [11,12]

2.4 Revolução 4.0

Atualmente vivemos a quarta revolução industrial que mudou por completo a forma como as empresas produzem e comercializam os seus produtos. O conceito de indústria 4.0 surgiu, pela primeira vez, em 2011 na feira de *Hannover*, no âmbito de um projeto estratégico que promovia a informatização das fábricas. No ano seguinte, *Siegfried Dais* (da empresa *Robert Bosch GmbH*) e *Kagermann* (da empresa *Acatech*), dois dos responsáveis desse projeto, apresentaram ao governo alemão, um conjunto de recomendações de implementação do seu plano às empresas atuais. [15]

A verdade é que a evolução da tecnologia nos últimos anos, nomeadamente nas áreas de sensorização e ambientes inteligentes possibilitam grandes melhorias a nível dos processos de produção, permitindo obter níveis de produtividade que não seriam expectáveis nas indústrias anteriores.

É também de salientar que um dos grandes progressos desta quarta revolução industrial foi a gradual introdução das fontes de energia renováveis. Desta forma, a indústria, outrora baseada em energias altamente poluentes, pretende agora caminhar em direção a um futuro mais sustentável. [11,12,14]

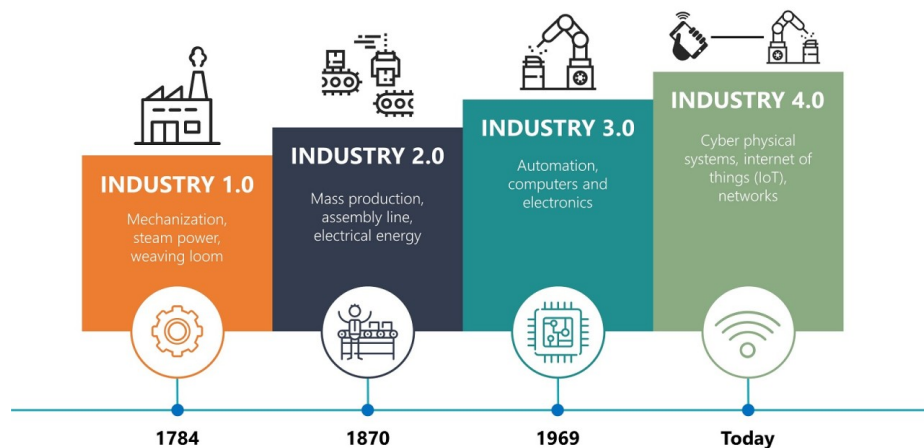


Figura 1: Revoluções Industriais ao longo do tempo [10]

3 Definição e Caracterização

Como se verificou anteriormente, geração após geração foram surgindo diversos paradigmas de produção que procuravam aperfeiçoar o processo de produção em vigor, melhorando o seu desempenho e rendimento. Assim sendo, a indústria 4.0 constitui o mais recente destes paradigmas e que pretende concretizar o conceito de produção inteligente ou *smart manufacturing*. Isto significa que a quarta revolução industrial pressupõe a introdução de tecnologias inovadoras da atualidade, como a *Internet of Things*, a robótica e outras, de forma a otimizar o mais possível as atividades industriais tornando-as mais eficazes e lucrativas.

A indústria 4.0 pressupõe também que os processos de produção passam a ser praticamente autónomos, necessitando de mínima intervenção humana, sendo as principais vantagens deste fenómeno, a diminuição do impacto de erros humanos, o aumento da capacidade de previsão de erros e a uma maior adaptabilidade destes processos a mudanças inesperadas. É importante também realçar que a Indústria 4.0 possibilita que as máquinas e dispositivos estejam conectados através de uma rede inteligente, comunicando entre si durante todo o processo de produção. Esta comunicação e conexão em rede é um dos fundamentos das fábricas inteligentes (*smart factories*) nas quais sistemas de produção, componentes e pessoas geram e trocam informações entre si. Estas informações são enviadas para um sistema de controlo no qual é feita a sua monitorização e análise. Assim sendo, esta troca de dados entre o mundo físico e o virtual (*cyber*), constitui uma parte fundamental desta quarta revolução industrial que são os sistemas **ciber-físicos** [16].

Tendo em conta o que foi dito ao longo deste tópico, podemos resumir alguns princípios fundamentais segundo os quais a indústria 4.0 se baseia. São eles [13]:

- **Descentralização:** Este princípio pressupõe a utilização de arquiteturas descentralizadas que permitem uma maior escalabilidade e flexibilidade.
- **Virtualização:** Este princípio consiste na capacidade dos sistemas *ciber-físicos* criarem cópias virtuais de elementos do mundo físico, denominadas *digital twins* e a partir delas simular o seu comportamento. Estas cópias recebem informação através de, por exemplo, sensores presentes nas fábricas e são úteis para monitorizar e detetar problemas na linha de produção.
- **Capacidade de operação em tempo real:** Este princípio pressupõe que a obtenção e tratamento de dados deve ser feita de forma instantânea, de maneira a haver tomadas de decisão em tempo real.
- **Abordagem orientada a serviços:** Este princípio pressupõe a utilização de arquiteturas *service oriented* de forma a ser possível uma maior adaptação às constantes mudanças das necessidades dos clientes e assim oferecer um serviço mais personalizado.
- **Modularidade:** Implementação de sistemas modulares que possibilitam uma maior capacidade de adaptação às mudanças constantes da indústria.

Podemos então concluir, que a quarta revolução industrial surgiu como uma forma de revolucionar os processos de produção de maneira a ser possível tirar o melhor proveito das tecnologias atuais e assim responder de forma eficaz às necessidades de um mundo cada vez mais populoso e exigente.

4 Pilares Tecnológicos

Como já foi referido ao longo do artigo, à medida que foram feitos progressos a nível tecnológico, a indústria foi sempre acompanhando a sua evolução. Por este motivo, quando se fala em indústria 4.0 não se pode deixar de realçar as tecnologias que esta engloba.

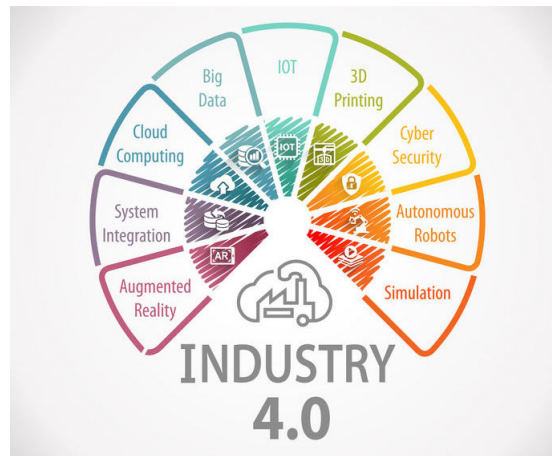


Figura 2: Os 9 Pilares da Industria 4.0 [1]

Assim sendo, foi determinado que a indústria 4.0 assenta nos seguintes pilares tecnológicos: [1,2,3,4]

- **Big data:** capacidade de lidar com grandes quantidades de dados. A partir deles será possível fazer uma análise e reconhecer padrões e dessa forma avaliar possíveis optimizações ou identificar desperdícios.
- **Simulações:** simular diferentes cenários virtuais e avaliar resultados de modo a identificar possíveis problemas e obstáculos. Desta forma, será possível seleccionar o cenário mais vantajoso antes de passar à sua implementação o que permite poupar tempo e dinheiro.
- **Integração de sistemas:** existência de comunicação a todos os níveis. A indústria 4.0 engloba 2 tipos de integração [5]:
 - **Horizontal:** comunicação entre sistemas ciber-físicos do mesmo nível de fabrico, estejam nas mesmas ou diferentes instalações. Esta interligação entre os diferentes dispositivos permite, por exemplo, compensar atrasos de

produção. Ou seja, se numa fábrica a produção de determinado produto estiver atrasada, como existe comunicação entre instalações, este atraso pode ser compensado por outra fábrica que esteja disponível.

- **Vertical:** comunicação entre dispositivos de níveis hierárquicos diferentes, desde do nível mais baixo (produção) até ao mais alto (empresarial), passando pela garantia de qualidade, vendas e *marketing*, entre outros.
- **Internet das coisas (IoT):** existe um ecossistema onde todos os sensores e dispositivos, capazes de operar separadamente, comunicam constantemente entre si através da Internet. Os recentes avanços ao nível das redes 5G têm permitido cada vez mais ter um maior número de componentes interligados, o que possibilita a implementação de aplicações que permitem resolver problemas mais complexos.
A *IoT* pode ser útil, por exemplo, em situações de rotura de stock de uma matéria prima. Caso a manufatura de um produto dependa de uma matéria prima que não esteja disponível, não vale a pena estar a produzir outros componentes desse mesmo produto enquanto não for reposto o *stock*. Neste cenário, a Indústria 4.0 certifica-se da existência de **sensores** que detetem a falta de produtos e consequentemente **agentes** capazes de processar a informação. Desta forma, o **agente** identifica momentos em que não será necessário operar e informa os dispositivos que devem parar, evitando trabalho desnecessário.
- **Robôs autónomos:** os robôs autónomos surgiram antes da quarta revolução industrial, no entanto foi a partir dessa altura que surgiram as suas versões inteligentes. Até ao momento, os robôs tinham como objetivo executar tarefas repetitivas de modo a torná-las mais rápidas e eficientes. Hoje em dia, graças à evolução da inteligência artificial estas máquinas tem também a capacidade de aprender e melhorar gradualmente de forma autónoma. Para além disso, são capazes de interagir com outras máquinas.
- **Computação em nuvem:** com o surgimento da *cloud* é possível ter acesso a sistemas remotos em qualquer lugar. Desta forma, qualquer máquina é capaz de aceder a novas informações em tempo real e, da mesma maneira, será possível fazer alterações aos mesmos dados a partir de todos os dispositivos com permissões e acesso à *Internet*.
- **Cibersegurança:** com a evolução tecnológica e consequentemente digitalização do mundo físico, torna-se cada vez mais difícil garantir a segurança dos sistemas. Visto que a indústria 4.0 se baseia no alto grau de comunicação entre todos os seus componentes, deve também assegurar que a transmissão das informações é segura, evitando qualquer ataque informático.
- **Realidade aumentada:** a sobreposição visual de objetos reais e virtuais que pode facilitar a operação de máquinas e serviços de manutenção. Assim sendo, o funcionário de uma indústria pode recorrer à utilização de óculos

de realidade aumentada para ser orientado em tarefas importantes onde é exigido tempo de resposta e não é viável estar a ensinar todo o processo.

- **Impressão 3D:** capacidade de conceber objetos com *designs* complexos que são praticamente impossíveis de ser feitos recorrendo a processos de manufatura convencionais. Isto permite proporcionar ao cliente uma experiência personalizada, na medida em que pode desenhar o seu próprio produto.

5 Agentes e Sistemas Multiagente

De forma a auxiliar a implementação das tecnologias mencionadas anteriormente, surgem os **sistemas multiagente**. Estes sistemas são compostos por agentes autónomos que são capazes de cooperar entre si. O principal objetivo é satisfazer tanto as suas necessidades como as do sistema onde estão inseridos. [27] Assim sendo, no âmbito da Indústria 4.0 estes sistemas integram os ambientes de produção das indústrias, onde todas as partes constituintes tal como as máquinas, ferramentas, etc. são agentes que trabalham juntamente para alcançar um objetivo comum. Os **agentes autónomos** são ativos que têm a capacidade de tomar decisões de forma inteligente com base no conhecimento que eles têm sobre o ambiente onde eles estão inseridos. Por este meio, através da troca de informações entre os vários agentes que constituem o sistema, eles adquirem a capacidade de **cooperar entre si** e a **tomada de decisão** é facilitada, uma vez que, agora conseguem tomar decisões mais acertadas já que têm acesso a mais informação. Além disso, os agentes, devido ao seu funcionamento autónomo, são entidades proativas, visto que conseguem adaptar-se de acordo com as alterações no meio envolvente.

De acordo com [28], as **tecnologias multiagente** permitem a descentralização, isto é, em vez de apenas uma entidade ter o controlo sobre o ambiente, todas as entidades cumprem a sua parte e cooperam entre si de forma a cumprir o objetivo final. As indústrias beneficiam desta estratégia uma vez que esta permite reconfigurar as linhas de produção de acordo com as necessidades que surgem tal como por exemplo reagir a uma evolução de mercados, identificar anomalias ou então prever problemas relacionados com a gestão de stock.

6 Adaptação das Empresas

Depois de abordarmos as várias tecnologias agregadas ao conceito de Indústria 4.0, é necessário perceber como é que as empresas podem adaptar-se, que mudanças é que são fulcrais implementar, e, ainda, entender qual o nível de maturidade que uma empresa tem de ter para ser denominada de "Indústria 4.0" e integrar essas mesmas tecnologias.

Primeiramente, existem dois sistemas que devem ser implementados: Rede de Abastecimento Digital (DSN) e *Smart Factory*. A Cadeia de Abastecimento

Tradicional segue um caminho linear, onde o seu objetivo é apenas movimentar matéria prima e produtos finais, de um ponto para outro, começando pelo desenvolvimento, depois pelo abastecimento e produção, e, finalmente, a distribuição e suporte. Esta trata-se de uma visão inadequada para os dias de hoje, uma vez que é inflexível, não sendo capaz de se adaptar a novos contextos. Com a chegada de novas tecnologias, é exequível substituir a cadeia de abastecimento tradicional por uma rede de abastecimento digital (Fig. 3), onde é possível maximizar a eficiência, através da criação de processos adaptativos, e agentes que cooperem entre si. Assim sendo, todos os pontos da rede de abastecimento são capazes de interagir entre si, através da transmissão de dados que possibilita a interligação entre todos os pontos da rede. Isto permite que estes sejam capazes de aprender, adaptar-se e até prever cenários futuros.

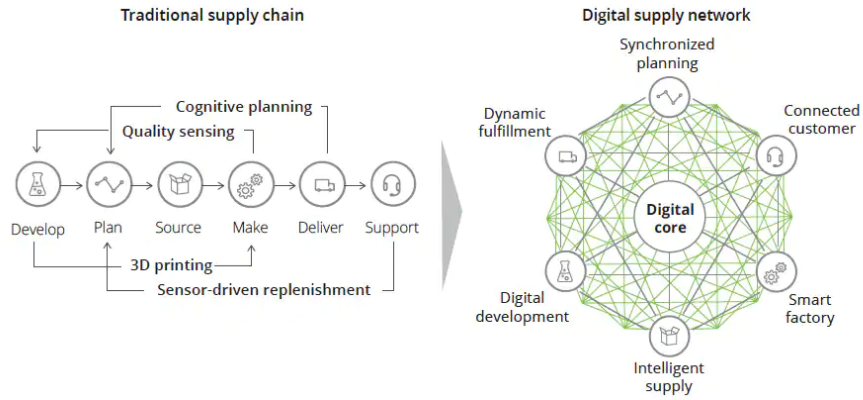


Figura 3: Cadeia de Abastecimento Tradicional vs Rede de Abastecimento Digital [9]

Uma *smart factory* trata-se de um sistema que consegue auto-otimizar a sua performance na rede e auto-adaptar-se através da aprendizagem a partir de novos contextos em tempo real. Além disso, é capaz de gerir processos de produção de forma autónoma. [9] O conceito de *smart factory* centra-se em cinco características chave, sendo elas as seguintes: **Conectividade**, **Optimização**, **Transparência**, **Proatividade**, e **Agilidade**. A **conectividade** trata-se da colaboração entre diferentes departamentos, ou, por exemplo, a comunicação entre clientes e fornecedores, que é facilitada através da geração de informação em tempo real feita pelos sensores implementados. A **otimização**, significa que a capacidade de produção torna-se previsível e fiável, a partir da automatização de processos produtivos. Possibilita, também, a melhoria dos planeamentos de produção, reduzindo custos e desperdícios. No caso da **transparência**, trata-se do acompanhamento em tempo real das operações que estão a ser executadas, facilitando o processo de tomada de decisão. Em relação à **proatividade**, o sistema deverá conseguir monitorizar em tempo real a segurança de todos os agentes integrantes, identificar anomalias e ainda prever problemas que possam

ocorrer referentes à manutenção ou gestão de stock. Finalmente, a **Agilidade**, trata-se de criar um ambiente que seja flexível e adaptável a mudanças.

Posto isto, o conceito de implementar uma solução como a da *Indústria 4.0*, é algo que pode ser complicado e que não é um caminho óbvio para as empresas. Mas com a evolução da tecnologia, tornou-se algo imperativo para aquelas empresas que desejam permanecer competitivas no mercado.

Deste modo, existem várias áreas nas quais as empresas se devem focar para realizar esta transição, sendo elas as seguintes: [9,24]

- **Dados e Algoritmos:** Os dados são fulcrais numa smart factory. É através dos mesmos que uma empresa é capaz de prever situações, identificar erros, etc.. Para tal, é necessário ter os meios corretos para a obtenção de dados de qualidade, uma vez que, quanto melhor a qualidade dos mesmos, melhor serão os resultados finais. Afiliado a isto, estão também os algoritmos (por exemplo de *machine learning*) que são capazes de fazer previsões com base em dados anteriores obtidos por tecnologias implementadas na fábrica.
- **Tecnologia:** Tal como dito anteriormente, é fulcral o uso de meios tecnológicos, como por exemplo, para a obtenção de dados. É popular o uso de sensores, uma vez que estes são capazes de obter informação em tempo real, monitorizando por este meio as operações que estão a ocorrer. Assim sendo, as empresas deverão estar preparadas com as tecnologias inovadoras que são inerentes à Indústria 4.0.
- **Criação de um ecossistema:** A ideia chave é a aplicação de um **sistema de multiagentes**, isto é, de um conjunto de agentes autónomos que cooperam entre si em prol da resolução de diversos problemas complexos, que estariam para além das capacidades individuais de cada um. Assim sendo, através da construção de uma rede alargada, onde todos os elementos integrantes são capazes de comunicar uns com os outros, é possível criar um ecossistema altamente rentável e eficiente.
- **Cibersegurança:** Por sua natureza, uma *smart factory* está conectada, e, por tal, surgem riscos oriundos do uso de novas tecnologias. E, como se trata de um ambiente totalmente conectado entre si, o impacto dos ciberataques é muito maior. Assim sendo, as empresas deverão estar preparadas para este tipo de ataques, fazendo da cibersegurança uma das suas principais prioridades.

Na figura seguinte, demonstra as várias etapas que uma empresa deverá realizar de forma a maximizar o seu potencial, com a ajuda das tecnologias inerentes à Indústria 4.0. Começando por maximizar a performance de um ativo individual, depois aumentar a performance da linha de produção, isto é, de um conjunto de agentes dependentes. De seguida, otimizar a performance de uma fábrica, conectando todos os seus agentes, formando assim um **sistema de multiagentes**. E, por fim, maximizar a performance da rede, partilhando a capacidade entre fábricas em tempo real, construindo desta forma um ecossistema onde todos os seus elementos cooperam entre si.

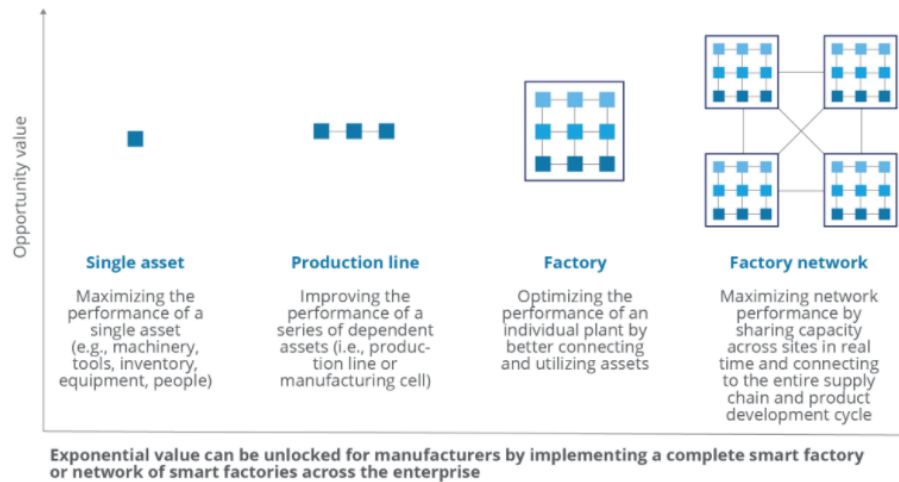


Figura 4: Etapas de implementação de uma *smart factory*. [9]

7 Impactos da Indústria 4.0

A quarta revolução industrial veio transformar o modo como as indústrias operam. Por este motivo, e tal como as revoluções anteriores, trouxe diversos aspetos positivos, no entanto é importante realçar que existem pontos desfavoráveis aliados a esta evolução. [6][7][8]

Uma das principais desvantagens da Indústria 4.0 são os **altos custos** da sua implementação. O facto de englobar tecnologias mais avançadas implica maiores gastos, não só com os produtos, mas também com a contratação de profissionais especializados em lidar com este tipo de equipamentos.

Do mesmo modo, como já foi referido a Indústria atualmente proporciona um alto nível de comunicação entre diferentes sistemas. Por este motivo, o fácil acesso aos dados através da Internet torna-se um problema no que concerne à sua **segurança** em relação a ataques cibernéticos. Para além disso, a comunicação entre máquinas requer uma comunicação estável e de confiança, o que exige uma latência constante e baixa.

Neste momento a indústria continua a contar com humanos para o seu funcionamento. No entanto, a mudança para sistemas digitais implicou a necessidade de contratação de **mão de obra altamente qualificada**. Consequentemente, os trabalhadores menos instruídos vêm progressivamente perdendo relevância nesta área. Da mesma forma, os funcionários que se mantêm nas empresas tem de ser educados para adotarem o novo sistema, o que consome tempo e esforço por parte das indústrias.

Por outro lado, as vantagens que a Indústria 4.0 oferece podem compensar os seus pontos negativos.

Em primeiro lugar, existe um aumento da **produtividade e eficiência**, isto é "faz-se mais com menos". Graças à tecnologia tornou-se possível produzir mais e de modo mais rápido alocando os recursos de forma mais rentável economicamente e eficiente.

Outro aspeto a destacar é a **partilha de conhecimento** entre diferentes setores. A facilidade de comunicação entre todos os departamentos permite que o conhecimento adquirido por um dispositivo seja transmitido de forma rápida e automática por toda a organização.

Do mesmo modo, as Indústrias 4.0 são bastante **flexíveis e adaptáveis**. Por exemplo, uma *Smart Factory* consegue facilmente, tanto aumentar ou diminuir a produção, como também introduzir novos produtos na linha de produção.

Por fim, apesar de inicialmente os custos da sua implementação poderem ser bastante elevados, a longo prazo as diversas otimizações que a Indústria 4.0 oferece tornam o processo **rentável economicamente**. Isto significa que os custos de produção e manutenção serão muito mais reduzidos.

8 Casos Práticos e Aplicações

No presente tópico iremos abordar como é que as tecnologias associadas à Indústria 4.0 são aplicadas em contextos reais e como é que as empresas fizeram uso das mesmas para otimizar processos e produtos finais. Sendo que, primeiramente, será feita uma breve abordagem sobre as aplicações numa componente mais prática, situada num ambiente industrial. Por fim, serão abordados 3 casos de empresas que aplicaram estes conceitos no mundo real.

8.1 Aplicações

Inteligência Artificial para separação de material

O processo de separação de materiais numa indústria é bastante repetitivo, e quando é desempenhado por pessoas pode estar suscetível a erros humanos. Além disso, trata-se de uma tarefa que pode prejudicar a saúde de quem a executa incessantemente, sendo que existem relatos e estudos sobre operários de várias fábricas que desenvolveram "lesões de esforço repetitivo (LER)", que tal como o nome indica, é provocada pela execução de movimentos repetitivos e contínuos. [23]

Como solução para este problema, surge então a aplicação de robôs autónomos já desenhados para a tarefa de "*pick and place*". Mas é importante realçar que existem dois tipos de robôs que podem ser utilizados para este efeito: Robôs tradicionais e Robôs autónomos. Enquanto que os robôs tradicionais são limitados pela sua programação, isto é, o seu funcionamento advém da aplicação de um algoritmo que lhe indica até que ponto deve mover o seu braço para apanhar a peça correta. Assim sendo, é necessário dispor as peças no tapete rolante de acordo com um padrão, de forma a que o robô funcione corretamente. Já os robôs

autónomos são capazes de distinguir as peças através da perceção de cores e formatos variados, isto porque possuem um sistema de visão integrado com IA. [26] Deste modo, eles conseguem apanhar a peça correta independentemente de onde ela esteja, desde que seja dentro do seu campo de visão. Assim sendo, o uso de robôs autónomos para o processo de separação de peças e materiais consoante cores e formatos, é bastante adequado, uma vez que ele tem a capacidade de se adaptar à localização das peças, em vez de serem estas a adaptar-se ao robô (tal como no caso do robô tradicional). Este trata-se de mais um caso em que a Inteligência Artificial melhora a performance de vários processos e também a qualidade de vida dos próprios operários das fábricas.

Big Data para detetar problemas em produtos e processos

Foi criado um componente que é capaz de analisar padrões de vibração em três eixos de qualquer seja o produto ou máquina, e assim que é ativado consegue captar e armazenar dados sobre a vibração desse mesmo aparelho. Através do uso de tecnologia de *Big Data Analytics*, é possível distinguir e extrair conhecimento dos padrões de vibração considerados como "normal" e daqueles que são referidos como sendo *outliers*, isto é, diferentes do normal. Assim sendo, é possível atribuir uma ação consoante o caso que é detetado. Por exemplo, através deste processo, as indústrias conseguem detetar maus funcionamentos nos seus sistemas, aos quais depois podem fazer ajustes e corrigir erros detetados. Ou, então, existem casos, onde aparelhos como este permitem às empresas que estas tirem proveito de certos processos operacionais, e consigam maximizar a sua eficiência, um exemplo é o de um sistema eólico que ajusta a sua posição consoante o nível de vibração, de modo a obter um melhor rendimento do vento que capta. Outro exemplo, é o de "*predictive maintenance*", que permite que as empresas consigam prever a durabilidade das máquinas e quando é que as mesmas precisam de manutenção. Assim sendo, as empresas fazem a manutenção destas máquinas durante períodos não operacionais, permitindo assim, que a eficiência durante as horas de trabalho de mantenha. [26]

Portanto, a tecnologia de *Big Data Analytics*, permite que as indústrias sejam capazes de reduzir custos, gerir os seus bens e recursos de forma eficaz, e ainda reduzir o risco de inatividade.

8.2 Casos Reais

Caso 1: *Fetch Robotics helps DHL improve warehouse operations*

Neste primeiro caso, a empresa "*Fetch Robotics*" desenvolveu Robôs Autónomos Móveis (AMRs), com o objetivo de localizar, monitorizar e deslocar o inventário pelo armazém e pontos logísticos. Estes são capazes de se moverem sozinhos pelo armazém juntamente com os funcionários, aprendendo automaticamente e partilhando quais são as rotas mais eficientes a tomar para se deslocarem para certo ponto do armazém. Um centro de distribuição da empresa "*DHL*" está a usar os

AMRs para operações de "pick and place". De acordo com as últimas análises feitas pela empresa, o uso desta nova tecnologia permitiu reduzir o tempo de cada pedido em 50%, e aumentou duas vezes o ganho na eficácia deste processo.

À medida que as novas tecnologias afiliadas à Indústria 4.0 permitem que os robôs tornem-se cada vez mais autônomos, e flexíveis, isto é, aptos a adaptar-se às mudanças de ambiente e contextos, os trabalhadores deixam de exercer tarefas monótonas e repetitivas. Permitindo, deste modo, aumentar a produtividade em contextos industriais.

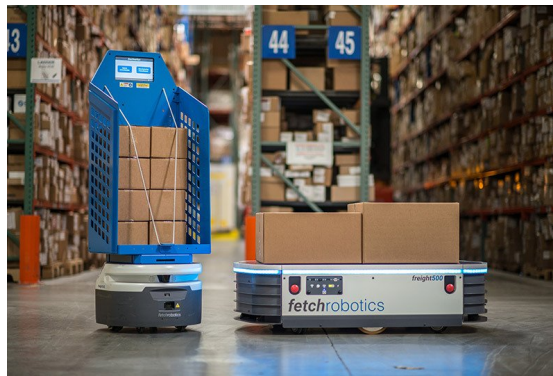


Figura 5: *Fetch Robotics - ARMs* [25]

Caso 2: Big Data decision-making at Bosch Automotive factory in China

O terceiro caso trata-se da Bosch, de modo a impulsionar a transformação digital na sua fábrica "Bosch Automotive Diesel System", na China, usam uma receita combinada de IIoT e Big Data. Começam por conectar as suas máquinas de modo a monitorizar todo o processo de produção da fábrica, recorrendo a sensores que permitem colecionar dados sobre as condições da máquina e o tempo de ciclo. O próximo passo trata-se da análise de dados, através de ferramentas avançadas de processamento em tempo real que alertam os trabalhadores quando são identificados pontos de contenção de desempenho nas operações de produção. Assim sendo, conseguem prever falhas de equipamentos e que agendar operações de manutenção bem antes que ocorram quaisquer falhas. Com esta análise de dados, a empresa afirma conseguir um ganho de aumento de produção superior a 10%, melhorando a entrega e satisfação do cliente. Em conclusão, a maior visão sobre as operações da planta da fábrica facilita o processo de tomada de decisão, tornando-a melhor e mais rápida em toda a organização, permitindo reduzir o tempo de inatividade do equipamento e a otimizar os processos de produção.



Figura 6: *BOSCH* - Caso de uso de Big Data [26]

9 Revolução 5.0

Tendo explorado com grande detalhe as várias vertentes associadas à quarta revolução industrial coloca-se agora a questão, o que advém no horizonte tecnológico para as indústrias.

Recentemente, entramos no princípio da **quinta revolução industrial** - a era da personalização em massa. A principal ideia, associada a este paradigma, é o **foco estar no ser humano**, ao passo que em revoluções passadas havia mais esforço, tanto por parte do homem como do próprio ambiente, de adaptação às máquinas. Neste sentido, existe também uma maior preocupação com a **sustentabilidade** e questões ambientais. Como referimos anteriormente, trata-se da era da personalização, com isto pretende-se introduzir o fator humano de novo na equação, potencializando a criatividade na resolução de problemas e permitindo assim a reconciliação entre humano e tecnologia.

Tal como o nome indica, o 5.0 é uma evolução natural do 4.0, consistindo os seus pilares : na experiência hiperpersonalizada dos clientes, no retorno de recursos humanos a novos postos de trabalho especializados, na formação contínua de colaboradores, na humanização da utilização de AI, maior inclusão, consciencialização, sustentabilidade e qualidade de vida nas sociedades. [22]

Em contrapartida, levantam-se algumas preocupações relacionadas quer com a segurança e sensorização dos dados, devido a tecnologia estar cada vez mais ubíqua no ambiente e por vezes completamente imperceptível, quer com a possibilidade de mudança dos postos de trabalho ou das funções a exercer, que necessitará de um *upskill* ou até mesmo de uma mudança na área de actuação dos operários de modo a manterem-se no meio.

Associada a uma (r)evolução industrial, está inerente a mudança. Parecendo avizinhar-se um período particularmente entusiasmante que trará certamente, tal como em revoluções antecessoras, um aumento da qualidade de vida da população.

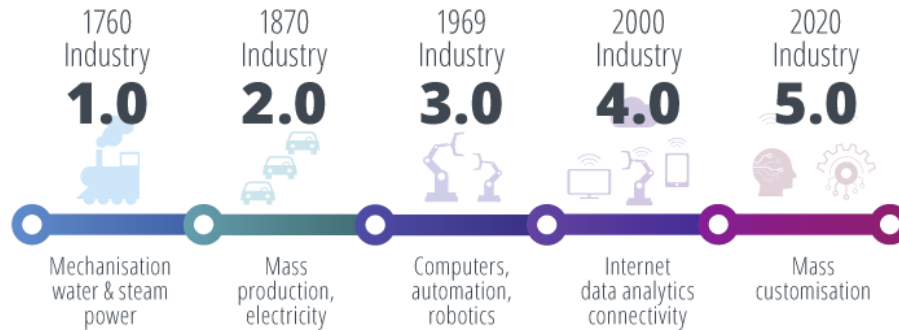


Figura 7: Indústria 5.0. [19]

10 Conclusões

De acordo com um inquérito realizado pela empresa *PwC* em 2016 [18], no qual participaram mais de 2000 executivos e *CEOs* de empresas industriais de todo o mundo, concluiu-se que, em média, o investimento previsto para os próximos 5 anos na indústria 4.0 ronda os 907 mil milhões de dólares, enquanto que os lucros anuais obtidos a partir desta indústria rondam os 493 mil milhões de dólares. Isto prova que as empresas do setor industrial procuram tornar-se mais modernas e dinâmicas e adaptar-se à era digital que vivemos atualmente, integrando os princípios e tecnologias inerentes a esta quarta revolução industrial.

Tendo isto em conta, ao longo do presente artigo científico abordamos as várias transformações que surgiram a nível dos processos de produção ao longo do tempo, bem como definimos em que é consiste a indústria 4.0, os seus pilares tecnológicos, casos de aplicação e os seus impactos na atualidade. Além disto, exploramos também um novo paradigma de produção, a indústria 5.0, bem como as perspetivas que este pressupõe para o futuro.

Desta forma, podemos concluir que os processos de produção evoluem ao longo do tempo de maneira a acompanhar um mundo cada vez mais populoso, exigente e com mais necessidades.

References

1. The Nine Pillars of Industry 4.0 - Transforming Industrial Production <https://circuitdigest.com/article/what-is-industry-4-and-its-nine-technology-pillars> Consultado em: 19.03.2022
2. An Introduction to Industry 4.0 https://www.emnify.com/blog/industry-4-0?utm_term=&utm_campaign=SEA-EN-EUR_EN-MC-DSA-NoFu-DSA.Pilot&utm_source=google&utm_medium=cpc&hsa_acc=2935385868&hsa_cam=13920402211&hsa_grp=126181834538&hsa_ad=552810642202&hsa_src=g&hsa_tgt=dsa-1469053018052&hsa_kw=&hsa_mt=&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gclid=CjwKCAjwoduRBhA4EiwACL5RP2y_M_mnLDHbWiuCgpQ0z3JPcQHVJRhVVV-EU2YbMoS4MzRuIISU2xoCJuAQAvD-BwEs Consultado em: 19.03.2022
3. Quais são os 9 pilares da indústria 4.0? <https://blog-pt.checklistfacil.com/pilares-da-industria-4-0/> Consultado em: 20.03.2022
4. Descubra quais são os pilares da indústria 4.0 <https://www.siembra.com.br/noticias/descubra-quais-sao-os-pilares-da-industria-40/> Consultado em: 20.03.2022
5. Horizontal and Vertical Integration in Industry 4.0 for Pharmaceutical and Medical Device Manufacturers <https://slcontrols.com/horizontal-and-vertical-integration-in-industry-4-0-for-pharmaceutical-and-medical-device-manufacturers/> Consultado em: 20.03.2022
6. Industry 4.0 advantages — Industry 4.0 disadvantages <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-Industry-4.html> Consultado em: 21.03.2022
7. Industry 4.0 Advantages and Disadvantages <https://www.machinemetrics.com/blog/industry-4-0-advantages-and-disadvantages> Consultado em: 21.03.2022
8. Benefits of Industry 4.0 <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-Industry-4.html> Consultado em: 22.03.2022
9. The smart factory <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0/smart-factory-connected-manufacturing.html> Consultado em: 22.03.2022
10. Industry 4.0 - The Fourth Industrial Revolution <https://www.linkedin.com/pulse/industry-40-fourth-industrial-revolution-ingersol-selvaraj> Consultado em: 16.03.2022
11. The Evolution of the Industrial Ages: Industry 1.0 to 4.0 <https://www.simio.com/blog/2018/09/05/evolution-industrial-ages-industry-1-0-4-0/> Consultado em: 17.03.2022
12. Industrial Revolution - From Industry 1.0 to Industry 4.0 <https://www.desouttertools.com/industry-4-0/news/503/industrial-revolution-from-industry-1-0-to-industry-4-0> Consultado em: 16.03.2022
13. Industry 4.0 Design Principles <https://www.rmit.edu.au/news/c4de/industry-4-0-design-principles> Consultado em: 17.03.2022
14. Indústria 4.0: O que é, e como ela vai impactar o mundo. <https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/> Consultado em: 18.03.2022
15. Industry 4.0 – Germany takes first steps toward the next industrial revolution <https://blog.bosch-si.com/industry40/industry-40-germany-takes-first-steps-toward-next-industrial-revolution/> Consultado em: 18.03.2022
16. Cyber physical systems the core of industry 4.0 <https://blog.isa.org/cyber-physical-systems-the-core-of-industry-4.0> Consultado em: 18.03.2022
17. Industry 4.0: Building the digital enterprise <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf> Consultado em: 18.03.2022

18. Indústria 4.0 <https://www.pwc.pt/pt/temas-actuais/industria-40.html> Consultado em: 20.03.2022
19. Industry 5.0: How the mass customization era can be the solution for overproduction <https://www.platforme.com/blog/industry-5-0-how-the-mass-customization-era-can-be-the-solution-for-overproduction> Consultado em: 16.03.2022
20. The Fifth Industrial Revolution (5IR) and how it will change the business landscape <https://insights.regenesys.net/the-fifth-industrial-revolution-5ir/> Consultado em 18.03.2022
21. Indústria 5.0, o novo paradigma de transformação digital do sector de manufacturing <https://www.publico.pt/2021/06/18/estudiop/noticia/industria-50-novo-paradigma-transformacao-digital-sector-manufacturing-1966918> Consultado em: 21.03.2022
22. INDÚSTRIA 5.0: AS PESSOAS NO CENTRO DA (R)EVOLUÇÃO <https://www.accept.pt/industria-5-0-as-pessoas-no-centro-da-revolucao/> Consultado em: 20.03.2022
23. Há doenças no trabalho: as profissões de risco <https://www.lusiadas.pt/blog/prevencao-estilo-vida/bem-estar/ha-doencas-trabalho-profissoes-risco> Consultado em: 23.03.2022
24. João Pedro Reis, Indústria 4.0: Estado da arte, análise de casos de estudo e proposta de um serviço de consultoria (2019)
25. Industry 4.0: 7 Real-World Examples of Digital Manufacturing in Action <https://amfg.ai/2019/03/28/industry-4-0-7-real-world-examples-of-digital-manufacturing-in-action/> March 2019 Consultado em: 20.03.2022
26. Casos de usos de Indústria 4.0 <https://www.industria40.ind.br/artigo/16512-5-casos-de-usos-de-industria-40-que-mudarao-sua-percepcao> Consultado em: 20.03.2022
27. JacksonT. Veiga, Controle de Sistemas de Manufatura Distribuídos no contexto da Indústria 4.0 (2020)
28. V. Marik, D. McFarlane, Industrial adoption of agent-based technologies (2005)