

O impacto da Indústria 4.0 no aumento da resiliência das empresas em tempos de crise (COVID-19)

Rui Leonel Pereira Esteves

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia e Gestão Industrial

2º ciclo de estudos

Orientador: Prof. Doutor Fernando Manuel Bigares Charrua Santos

dezembro de 2020

Dedicatória

A todos os que acreditaram em mim e à minha resiliência que me faz adaptar às adversidades e a ser melhor a cada dia.

Agradecimentos

De algum modo, esta página cravará os agradecimentos que já fiz pessoalmente, por mais de uma vez.

Agradecer, primeiro, aos meus pais por me terem permitido estudar, por todos os dias se levantarem de manhã com o objetivo de proporcionarem a melhor educação e formação aos filhos. Agradecer-lhes, acima de tudo, por me terem ensinado os valores da vida, a dar valor ao trabalho, à amizade, à família, aos bons momentos e a aprender a não desistir com os erros ou adversidades colocadas, sabendo que, no fim, o esforço será recompensado.

Agradecer, de um modo geral, à minha família, não vou enumerar porque o espaço seria insuficiente, mas fica o agradecimento porque sempre me incentivaram a ser melhor e por quererem o meu sucesso, tal como eu.

Agradecer aos meus amigos, aos de sempre, aos da universidade, aos do trabalho, por todos os momentos de boa disposição, por todo o companheirismo ao longo destes anos e por tudo o que ainda falta viver.

Ao Professor Doutor Fernando Santos, pela orientação, disponibilidade, ideias e críticas construtivas que fez ao longo de todo o processo. Agradecer, sobretudo, porque mesmo em tempos de pandemia, sempre mostrou disponibilidade para me auxiliar com a boa disposição que o caracteriza.

Por último, mas não menos importante, agradecer à minha casa nestes últimos anos, a Universidade da Beira Interior (UBI). A cidade e universidade que não conhecia, proporcionaram-me os melhores anos da minha vida, por isso só me resta agradecer a todos aqueles que têm feito da UBI uma referência nos últimos anos e que tantos ensinamentos me passaram, desde professores, funcionários a alunos porque nesta universidade todos têm o seu espaço e a sua importância. Hoje sou um Ubiano orgulhoso.

Resumo

Este estudo destaca a importância das ferramentas da Indústria 4.0 e como estão a ser usadas, especialmente na indústria, além de modelos e outras características que permitem às empresas, com base na digitalização e automação, mitigar o impacto do COVID-19 no seu dia a dia, torná-las resilientes e prepará-las para o “Novo Normal”.

Na primeira parte do estudo, aborda-se as 3 Revoluções Industriais, o surgimento da Indústria 4.0 como a Quarta Revolução Industrial, a implementação de princípios como a modularidade, interoperabilidade, virtualização, resposta em tempo real e descentralização nos processos produtivos que dão origem às Fábricas Inteligentes com base na Inteligência Artificial, *Cyber Physical Systems* e ferramentas da Indústria 4.0. Além disto, alinha-se a Indústria 4.0 com a Servitização, a Economia Circular, a sua afetação à logística (Logística 4.0), aos Serviços (Serviços 4.0) e um guia para avaliar a maturidade das empresas na introdução de estratégias da Indústria 4.0. Por fim, estuda-se como a Comissão Europeia, os Estados Unidos da América, a China, a Alemanha e Portugal estão a auxiliar as empresas na transição para modelos que incorporem novas tecnologias.

A segunda parte do estudo inicia-se com uma análise às crises mundiais anteriores e as semelhanças que têm com a crise que o COVID-19 está a provocar. Avalia-se o impacto do COVID-19 a nível mundial e depois, de uma maneira mais detalhada, a organização e os países que foram estudados na primeira parte do estudo. De seguida, estuda-se como o COVID-19 está a aumentar o uso de novas tecnologias e de práticas de Economia Circular o que leva as empresas a inovar e a tornarem-se resilientes com a sua reestruturação e mudança dos modelos de negócios. É apresentado um modelo de gestão de crises para as empresas, além disto, é exibido um modelo de gestão de armazéns e de uma linha de produção que usa as ferramentas da Indústria 4.0 para combater as adversidades impostas pelo vírus como o distanciamento social entre trabalhadores. Por fim, é apresentada de forma detalhada como as ferramentas da Indústria 4.0 estão a ser usadas ou podem ser usadas para enfrentar as adversidades impostas pelo vírus e as vantagens que trazem para as empresas enfrentarem o “Novo Normal” Pós-COVID-19.

Palavras-chave

I4.0 (Indústria 4.0); Novas Tecnologias; COVID-19; Novo Normal; Digitalização; Automação; Crises; Resiliência; Ferramentas I4.0; CPS (Sistemas Ciber-Físicos); Economia Circular; Reestruturação de empresas

Abstract

This study emphasizes the importance of Industry 4.0 tools and how they are being used, especially in industry, besides models and other features that allow companies, based on scanning and automation, to mitigate the impact of COVID-19, making them more resilient and preparing them for the “New Normal”.

The first part of this study approaches the 3 Industrial Revolutions, the appearance of Industry 4.0, as the Fourth Industrial Revolution, the principles implementation, such as, modularity, interoperability, virtualization, real-time response and decentralization in production processes that originate Intelligent Factories based on Artificial Intelligence, Cyber-Physical Systems and Industry 4.0 tools. In addition, Industry 4.0 is aligned with servitization, circular economy, its effect on logistics (logistics 4.0), services (services 4.0) and a guide to evaluate the companies' maturity with the introduction of Industry 4.0 strategies. Finally, this study shows how the European Commission, the United States of America, China, Germany and Portugal are helping companies in the transition to models that incorporate new technologies.

The second part of this study, begins with a previous world crises analysis and similarities with COVID-19 crisis. First, it evaluates the global impact of COVID-19 and then, with more detail, the organization and countries studied in the first part of this study. After, this study shows how COVID-19 is increasing the use of new technologies and Circular Economy practices, which leads to more innovative and resilient companies, through their restructuring and changing their business model. A crisis management model for companies is presented as well as a warehouse management model and a production line that uses Industry 4.0 tools to combat adversities imposed by the virus, such as a social distance between workers. Finally, it is presented, in detail, how industry 4.0 tools are being used and can be used to face the adversities imposed by the virus and the advantages they bring to companies to face the “New Normal” post-COVID-19.

Keywords

I4.0 (Industry 4.0); New Technologies; COVID-19; New Normal; Digitalization; Automation; Crisis; Resilience; I4.0 Tools; CPS (Cyber-Physical Systems); Circular Economy; Company Restructuring

Índice

Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1. Enquadramento do tema	1
1.2. Evolução histórica.....	2
1.3. Lean Manufacturing	4
1.4. Objetivo.....	5
1.4.1. Pertinência do tema.....	6
1.5. Metodologias de Investigação.....	6
1.6. Estrutura do trabalho	8
Capítulo 2	11
Revisão Bibliográfica	11
2.1. Indústria 4.0 e definições	11
2.1.1. A servitização na Indústria 4.0.....	15
2.1.2. Economia Circular como suporte para a I4.0	17
2.2. As Fábricas Inteligentes e as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0	19
2.2.1. As Fábricas Inteligentes da Indústria 4.0	19
2.2.2. Tecnologias habilitadoras da I4.0	20
2.2.3. Cyber-Physical Production Systems	22
2.3. Os 10 Pilares da Indústria 4.0.....	24
2.3.1. Internet of Things.....	25
2.3.2. Cloud Computing.....	28
2.3.3. Big Data	29
2.3.4. Robôs autónomos	30
2.3.5. Simulações.....	31
2.3.6. Sistemas Integrados (vertical, horizontal e ponta a ponta)	32
2.3.7. Segurança Cibernética	34
2.3.8. Fabricação Aditiva	36
2.3.9. Realidade Aumentada/Realidade Virtual	37
2.3.10. Outras Tecnologias Habilitadoras	39
2.4. Indústria 4.0 na Logística e nos Serviços	39
2.4.1. Logística 4.0	40
2.4.2. Serviços 4.0.....	41
2.5. Desafios à implementação da Indústria 4.0	41
2.5.1. Guia de Maturidade da <i>National Academy of Science and Engineering</i>	43
2.6. Países que implementaram estratégias I4.0.....	46
2.6.1. Comissão Europeia: Plano “Factories of the Future”	47
2.6.2. Alemanha: “ <i>High-Tech Strategy</i> ” e “ <i>Platform Industrie 4.0</i> ”	48
2.6.3. EUA: “ <i>Advanced Manufacturing Partnership</i> ”	50
2.6.4. China: “ <i>Made In China 2025</i> ”	51
2.6.5. Portugal: Programa Indústria 4.0	53
Capítulo 3	55
COVID-19 e o impacto mundial	55
3.1. A pandemia do COVID-19	55
3.2.1. Crise de 1929	56
3.2.2. Crise de 2008/2009	56
3.2.3. Relação com as crises passadas	58
3.3. Impacto do COVID-19 a nível mundial	59
3.3.1 Impacto do COVID-19 na União Europeia	61

3.3.2. Impacto do COVID-19 nos EUA	62
3.3.3. Impacto da COVID-19 na indústria da Alemanha	62
3.3.4. Impacto do COVID-19 na China	63
3.3.5. Impacto da COVID-19 em Portugal	64
Capítulo 4.....	67
A reestruturação, inovação e resiliência das empresas ao COVID-19	67
4.1. Economia Circular	67
4.2. O aumento do uso das novas tecnologias	67
4.3. As estratégias de inovação das empresas.....	68
4.4. Resiliência das empresas	69
4.4.1 Modelo de gestão de crises para as empresas e os elementos da resiliência	71
4.5. A reestruturação dos modelos de negócio	73
Capítulo 5.....	77
As Fábricas Inteligentes e as ferramentas da Indústria 4.0 como resposta ao COVID-19	77
5.1. Fábricas Inteligentes que mitigam o impacto do COVID-19.....	77
5.2. A utilidade das ferramentas da I4.0 na Indústria para combater o COVID-19	81
5.2.1. Internet of Things.....	83
5.2.2. Cloud Computing	84
5.2.3. Big Data	84
5.2.4. Robôs autónomos.....	85
5.2.5. Simulações.....	88
5.2.6. Sistemas Integrados (vertical, horizontal e <i>ponta a ponta</i>).....	89
5.2.7. Segurança Cibernética.....	90
5.2.8. Fabricação Aditiva.....	91
5.2.9. Realidade Aumentada/Realidade Virtual	92
5.2.10. Resumo utilidade das ferramentas da I4.0 na Indústria para combater o COVID-19	93
Capítulo 6.....	97
Conclusões	97
6.1. Considerações Finais	97
6.2. Limitações do estudo	99
6.3. Linha orientadoras para futuras investigações	99
Bibliografia	101
Anexos	113

Lista de Figuras

Figura 1 - As 4 Revoluções Industriais, adaptado de (Santos et al., 2018)	4
Figura 2: The Toyota System Production House, adaptado de (Liker & Morgan, 2006).....	5
Figura 3: Os conceitos chave do aumento/diminuição dos serviços nas empresas, adaptado de (Kowalkowski et al., 2017)	16
Figura 4: - Sistema de produção descentralizado das Fábricas Inteligentes, adaptado de Alcácer & Cruz-Machado, (2019)	20
Figura 5: A evolução das tecnologias que habilitam a Indústria 4.0, adaptado de (Xu et al., 2018).....	21
Figura 6: A interoperabilidade e os vários campos de aplicação da I4.0, CPS&CPPS, adaptado de Lu (2017).....	24
Figura 7: - A aplicação das camadas SoA para a IoT, adaptado de (Li et al., 2015).....	26
Figura 8: Rede de trabalho IIoT, adaptado de (Medium Corporation, 2017).....	27
Figura 9: Caracterização & Campos de Aplicação dos Robôs Autónomos, adaptado de (Alcácer & Cruz-Machado, 2019).	31
Figura 10: Os 3 tipos de sistemas integrados, adaptado de (Wang et al., 2016).....	34
Figura 11: A variabilidade da aplicação da Realidade Aumentada & Realidade Virtual, adaptado de (Alcácer & Cruz-Machado, 2019).....	38
Figura 12: A cadeia de Valor de Porter como uma estrutura para a I4.0, adaptado de (Chiarello et al., 2018).....	40
Figura 13: Etapas do desenvolvimento da Indústria 4.0, adaptado de (Schuh et al., 2017).	44
Figura 14: Método de avaliação das áreas estruturais, adaptado de Schuh et al., (2017)...	45
Figura 15: Grau de digitalização na indústria em Portugal e no mundo, em 2016 e em 5 anos, por áreas, retirado de (PwC Portugal, 2016).....	53
Figura 16: As 3 fases do COVID-19, adaptado de (Gjaja et al. 2020).....	59
Figura 17: A convergência das estratégias de inovação, adaptado de (Lee & Trimi, 2021).69	
Figura 18: A relação entre as fases do modelo de gestão de crises e os elementos de resiliência, adaptado de (Rapaccini et al., 2020).	73
Figura 19: A gestão de armazém e dos pedidos em tempo real com o uso de ferramentas da I4.0, adaptado de (Agrawal et al., 2020).....	77

Figura 20: Automação e o uso de IA em ambiente fabril para mitigar o impacto do COVID-19, adaptado de (Agrawal et al., 2020).	79
Figura 21: A fabricação inteligente com integração do mundo virtual e do mundo físico para resposta a surtos como o COVID-19, adaptado de (Li et al., 2020).....	80
Figura 22: A utilização das novas tecnologias antes e durante o COVID-19 nas empresas, adaptado de (Rapaccini et al., 2020).	81
Figura 23: Tecnologias inteligentes e de automação para garantir o funcionamento das fábricas com as restrições do COVID-19, adaptado de (Chen & Lin, 2020).....	82
Figura 24 - O trabalho autónomo de cada célula de trabalho, retirado de (Malik et al., 2020)	86
Figura 25 - Célula de trabalho funcional que integra humanos e cobots, adaptado de (Malik et al., 2020)	86
Figura 26 - Exemplo de unidade móvel de produção (Factory-in-a-box), retirado de (Malik et al., 2020)	87
Figura 27 - A simulação de um passo do processo de produção através de Digital Twin, adaptado de (Malik et al., 2020).....	88
Figura 28: A integração dos departamentos numa fábrica, adaptado de (Agrawal et al., 2020).....	89
Figura 29: Os passos para a projeção e produção com recurso à FA, adaptado de (Arora et al., 2020).	91

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Definições sobre a Indústria 4.0, na ótica de alguns autores.	12
Tabela 2: Número de infeções e mortes a nível mundial devido à COVID-19, dados retirados de (World Health Organization, 2020d)	55
Tabela 3: Projeção da evolução do PIB nas economias mundiais, adaptado de (International Monetary Fund, 2020b)	60
Tabela 4 - Impacto do Covid-19 na economia e produção industrial da União Europeia, dados retirados de (Eurostat, 2020).	61
Tabela 5 - Panorama dos trabalhadores e empresas portuguesas entre abril e julho, dados retirados de (Instituto Nacional de Estatística, 2020c; Instituto Nacional de Estatística, 2020d).	65
Tabela 6 - Projeções económicas para Portugal para os anos de 2020 a 2022, adaptado de (Banco de Portugal, 2020).	65
Tabela 7 - A adaptação e resiliência das maiores empresas do mundo em tempos de COVID-19, retirado e traduzido de (Madurai Elavarasan & Pugazhendhi, 2020).	70
Tabela 8 - Consequências do COVID-19 nas empresas e capacidade das ferramentas da I4.0 na mitigação dos seus efeitos, elaboração própria do autor.....	94
Tabela 9 - Os processos de Fabricação Aditiva, a sua aplicação, vantagens e desvantagens, adaptado de Tofail et al., (2018).....	113

Lista de Acrónimos/Glossário

Acrónimo	Significado	Tradução
3D	3 Dimensões	
4D	4 Dimensões	
4G	Quarta Geração	
5G	Quinta Geração	
6G	Sexta Geração	
5S	<i>Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke</i>	Senso da utilização, Senso da Organização, Senso da Limpeza, Senso da Padronização e Saúde, Senso da Disciplina
ACATECH	<i>National Academy of Science and Engineering</i>	
AMP	<i>Advanced Manufacturing Partnership</i>	
AS	<i>Atomic Services</i>	Serviços Nucleares (Básicos)
BD	<i>Big Data</i>	Grande conjunto de dados
CAD	<i>Computer Aided Design</i>	<i>Design</i> assistido por computador
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>	Fabricação assistida por computador
CAQ	<i>Computer Aided Quality</i>	Análise de Qualidade assistida por computador
CAPP	<i>Computer Aided Process Planning</i>	Processo de planeamento auxiliado por Computador
CC	<i>Cloud Computing</i>	Computação em Nuvem
CE	Comissão Europeia	
Cisco IBSG	<i>Cisco Internet Business Solutions Group</i>	
CMfg	<i>Cloud Manufacturing</i>	Fabricação em Nuvem
CNC	<i>Computer Numeric Control</i>	Comando Numérico Computorizado
Cobots	<i>Collaborative Robots</i>	Robôs colaborativos
COVID-19	Novo Coronavírus	
CPS	<i>Cyber-Physical Systems</i>	Sistemas Ciberfísicos
CPPS	<i>Cyber-Physical Production Systems</i>	Sistemas de Produção Ciberfísicos
CPSLD	<i>Cyber-Physical Systems Logical Devices</i>	Aparelhos lógicos dos sistemas Ciberfísicos
DT	<i>Digital Twin</i>	Gémeo Digital
EC	Economia Circular	
EFFRA	<i>European Factories of the Future Research Association</i>	Associação de Fábricas Europeias de Pesquisa do Futuro
ERP	<i>Enterprise Resource Planing</i>	Sistema Integrado de Gestão Empresarial
EUA	Estados Unidos da América	
FA	Fabricação Aditiva	
FI	Fábricas Inteligentes	

FMI	Fundo Monetário Internacional	
FoF	<i>Factories of the Future</i>	Fábricas do Futuro
FoM	<i>Future of Manufacturing</i>	Futuro da Fabricação
G7	Grupo dos 7	
G20	Grupo dos 20	
HMD	<i>Head Mounted Display</i>	Dispositivo de exibição montado na cabeça
I&D	Investigação & Desenvolvimento	
I4.0	Indústria 4.0	
IA	Inteligência Artificial	
IaaS	<i>Infrastructure as a Service</i>	Infraestrutura como Serviço
IEM	<i>Information Exchange Model</i>	Modelo de Troca de Informações
IGC Industrial	Índice de Gestão de Compras Industrial	
IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i>	<i>Internet</i> Industrial das Coisas
INE	Instituto Nacional de Estatística	
IoMT	<i>Internet of Medical Things</i>	<i>Internet</i> das Coisas Médicas
IoS	<i>Internet of Services</i>	<i>Internet</i> dos Serviços
IoT	<i>Internet of Things</i>	<i>Internet</i> das Coisas
IPv6	<i>Internet Protocol Version 6</i>	Protocolo da <i>Internet</i> versão 6
L4.0	Logística 4.0	
LM	<i>Lean Manufacturing</i>	Fabricação Lean (Produção Otimizada)
LPN	<i>Logical Process Nodes</i>	Nós Lógicos do Processo
M2M	<i>Machine to Machine</i>	Máquina para Máquina
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>	Sistema Informatizados para Execução da Fabricação
MIC2025	<i>Made In China 2025</i>	Feito na China 2025
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>	Instituto de Tecnologia de <i>Massachusetts</i>
NFV	<i>Network Function Virtualization</i>	Virtualização das funções da rede de trabalho
OMS	Organização Mundial de Saúde	
PI4.0	Programa Indústria 4.0	
PaaS	<i>Platform as a Service</i>	Plataforma como Serviço
PIB	Produto Interno Bruto	
PIM	<i>Plant Information Model</i>	Plano/Modelo de Informação
PIMCO	<i>Pacific Investment Management Company, LLC</i>	
PME	Pequenas e Médias Empresas	
PPM	<i>Production Process Model</i>	Modelo do Processo de Produção
PPP	Parcerias Público-Privadas	
PwC	<i>Pricewaterhousecoopers</i>	
QDA	<i>Quality Data Analysis</i>	Análise de Dados de Qualidade
RA	Realidade Aumentada	
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>	Identificação por radiofrequência
RV	Realidade Virtual	

S4.0	Serviço 4.0	
SaaS	<i>Software as a Service</i>	<i>Software como Serviço</i>
SC	Segurança Cibernética	
SDN	<i>Software Defined Network</i>	Redes de Trabalho geridas por <i>Software</i>
SoA	<i>Service-oriented Architecture</i>	Arquitetura (Padronização de projetos) orientada para os Serviços
TI	Tecnologias de Informação	
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação	
UBI	Universidade da Beira Interior	
UE	União Europeia	
VEO	<i>Virtual Engineering Objects</i>	Engenharia Virtual de Processamento de Objetos
VSM	<i>Value Streaming Mapping</i>	Mapeamento do Fluxo de Valor
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>	Redes de sensores sem fios

Capítulo 1

Introdução

1.1. Enquadramento do tema

A Indústria 4.0 (I4.0) é a quarta revolução industrial, ideia apresentada pelo governo alemão em 2011 para revolucionar a sua indústria e fazer face à recessão que se assistira nos últimos anos. O conceito de I4.0 é dado como definição de tecnologias habilitadoras, incluindo os benefícios advindos dessas tecnologias (Kagermann et al., 2013). Os avanços nos processos de inovação, em 1988, foram apelidados de quarta revolução industrial. Mais tarde, foi associada à criação e desenvolvimento de nanotecnologias. Porém, só em 2011, é que associaram a I4.0 à quarta revolução industrial (Büchi et al., 2020). A I4.0 surge como uma nova era para a humanidade, aliada à rápida progressão tecnológica, representa um avanço para empresas e governos (Özkan et al., 2018). A evolução dos sistemas informáticos e das estruturas de suporte traduziram-se numa integração do mundo físico e virtual, criando o mundo cibernético, está a resultar na sistematização dos *Cyber-Physical Systems* (CPS). Com a introdução do *Internet Protocol version 6* (IPv6), em 2012, a *Internet* adquiriu a capacidade para criar uma rede inteligente que englobe pessoas, informações e os recursos necessários para criar a *Internet of Things* (IoT). Estas tecnologias contribuem para beneficiar a integração e interoperabilidade dos elementos da cadeia industrial (Kagermann et al., 2013). Outros países adotaram novos nomes para a I4.0, como os Estados Unidos da América (EUA) com o plano “*Advanced Manufacturing Partnership*” (AMP), o Reino Unido com “*Future of Manufacturing*” (FoM) e a Comissão Europeia (CE) apresentou “*Factories of the Future*” (FoF) (Büchi et al., 2020).

A I4.0 permitirá que áreas menos tradicionais sejam desenvolvidas, por exemplo, na área da saúde os implantes, a impressão de órgãos do corpo humano e o desenvolvimento de equipamentos. A ideologia desta revolução assente na Economia Circular (EC) e na sustentabilidade, permite que o consumo de matérias primas seja mais eficiente e os equipamentos sejam desmontados e reaproveitadas as peças em bom estado para a criação de equipamentos novos (Kusiak, 2018).

As medidas para mitigar o efeito do novo coronavírus (COVID-19) estão a implementar várias ferramentas da I4.0. A transformação digital motivada pela I4.0 está a contribuir para uma gestão mais segura e eficiente no dia a dia das pessoas. Quanto ao modo de trabalho, a I4.0 está a criar uma nova cultura que coloca os funcionários dos escritórios a trabalhar a partir de casa, estabelecendo contactos e reuniões através dos meios digitais. Na

indústria, as operações de produção estão a ser efetuadas de forma remota através de redes e controlos inteligentes disponibilizados pela I4.0 (Javaid et al., 2020).

1.2. Evolução histórica

A palavra “revolução” significa uma mudança abrupta. A primeira mudança profunda no modo de vida ocorreu há cerca de 10 mil anos e introduziu a transição da busca dos alimentos e da caça pela agricultura e pela domesticação dos animais. A combinação da força animal com a humana levou a um incremento da produção dos alimentos, da capacidade de transporte e das comunicações. Assentes nestas mudanças, a população começou a aumentar, dando origem assim a aglomerados populacionais maiores que levou ao aparecimento das primeiras cidades (Schwab, 2016).

A Primeira Revolução industrial ocorreu, aproximadamente, entre 1784-1870. Caraterizou-se pela criação de fábricas e pela substituição da combinação da força humana e animal pelas máquinas movidas a vapor que permitiu o início da produção mecânica. A Grã-Bretanha¹ foi o país pioneiro (Klingenberg, 2017). Nos transportes, com a introdução destas máquinas, surgiram as primeiras locomotivas a vapor (Schwab, 2016). Estas mudanças trouxeram alterações na vida económica e social, devido ao aumento da produção agrícola, das redes que se estabeleceram no comércio ultramarino e da criação de fábricas. Este último aspeto, levou ao aparecimento da classe trabalhadora das fábricas (proletariado) e incutiu-lhes a rigidez horária e a necessidade de responder às exigências de produção das máquinas. As melhorias nas condições de vida permitiram um grande crescimento da população que absorvia a produção e oferecia mão de obra para as fábricas (Klingenberg, 2017).

A Segunda Revolução situou-se entre 1870-1969, foi liderada pelos EUA, acompanhada, posteriormente, pelas maiores potências da Europa, e deu-se com o aparecimento de uma nova fonte de energia: a eletricidade. Desenvolveram-se indústrias como a do aço e dos químicos. Esta revolução teve como características a criação das primeiras linhas de montagem, o desenvolvimento do sistema de produção em massa que permitiram as economias de escala (Klingenberg, 2017). Na indústria automotiva, Henry Ford, adotou um processo longo e interconectado que levou a produção em massa a ser conhecida por fordismo em algumas partes do mundo. A evolução tecnológica e industrial das nações mais ricas acentuou as diferenças que já existiam para as mais pobres, uma vez que vigorava, e estava em expansão, o livre-comércio dos produtos. A Grande Depressão (1873-1896), as 2

¹ Ilha onde está situada a Inglaterra, País de Gales e Escócia.

Guerras Mundiais (1914-1918 e 1939-1945) e a queda acentuada da bolsa nos EUA (1929) refrearam o crescimento nesse espaço de tempo, mas era compensado pelo desenvolvimento industrial e económico nos anos seguintes (Frieden, 2008).

A Terceira Revolução também teve início nos EUA, registou-se a partir de 1969 e está em vigor ainda nos dias de hoje. Ao contrário das outras, não aconteceu por causa do surgimento de uma nova fonte de energia, mas pela introdução das Tecnologias de Informação (TI) (Klingenberg, 2017). É conhecida ainda por revolução digital ou do computador e foi impulsionada pelo desenvolvimento dos semicondutores e da computação *mainframe* na década de 60, da computação pessoal nas duas décadas seguintes e da *internet* na década de 90 (Schwab, 2016). Vários governos investiram nas inovações que esta revolução trouxe para obter proveitos económicos e automatizar algumas atividades que eram desenvolvidas de forma manual. As TI desenvolveram ferramentas que alteraram o paradigma da produção como o *Computer Numeric Control* (CNC) e os robôs industriais que possibilitaram um sistema de fabricação flexível (Klingenberg, 2017). Surgiram também o *Computer Aided Design* (CAD) e o *Computer Aided Manufacturing* (CAM) (Feng et al., 2001).

A tecnologia digital evoluiu e distanciou-se da terceira revolução industrial, tornando-se mais sofisticada e integrada (Schwab, 2016). Esta evolução foi apresentada, em 2011, na feira de Hannover, na Alemanha, pelo governo alemão, a I4.0, assumindo-se como a quarta revolução industrial. O objetivo é aumentar o uso de automação na indústria para aumentar o nível de produtividade e eficiência (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). Esta revolução é baseada nos CPS para a produção e para a logística. Além dos CPS, a IoT será usada também nos processos industriais. Estas características da I4.0 terão influências na criação de valor, organização do trabalho e dos modelos de negócios (Kagermann et al., 2013).

A figura 1 exhibe, de forma resumida, as 4 Revoluções Industriais abordadas anteriormente, expondo as principais características da cada uma.

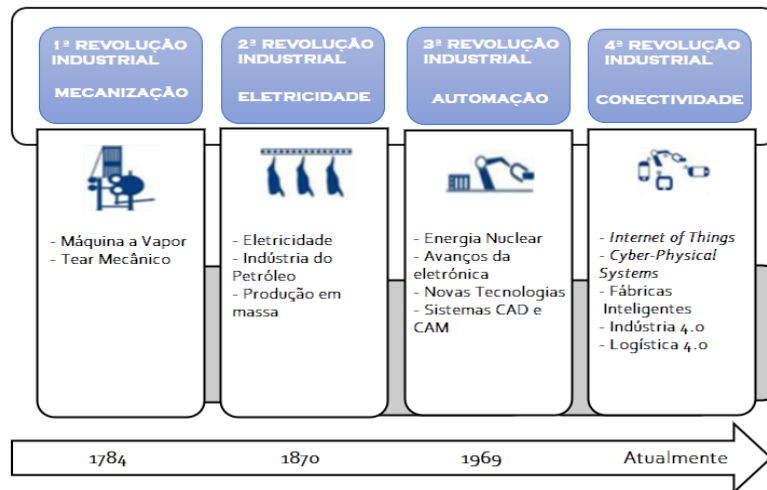


Figura 1 - As 4 Revoluções Industriais, adaptado de (Santos et al., 2018)

1.3. Lean Manufacturing

Lean Manufacturing (LM) é uma abordagem que engloba várias técnicas de fabrico com o objetivo de identificar as variações da produção e eliminar os resíduos ao longo do fluxo produtivo, o que permite reduzir a utilização de recursos e aumentar os lucros (Pagliosa et al., 2019). O LM teve origem no sistema de produção da Toyota, no período pós 2ª Guerra Mundial, devido à necessidade de produzir com os recursos limitados que possuíam. Na sua origem, esta abordagem não estava interligada com as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), porém o avanço das TIC e a cooperação entre elas têm levado a várias investigações para se conseguir retirar mais proveitos (Buer et al., 2018).

Segundo (Pagliosa et al., 2019), a melhoria de desempenho da organização deve-se às práticas do LM, como é o caso de *Value Stream Mapping* (VSM), o *Seiri, seiton, seiso, seiketsu, shitsuke* (5S), *Kanban*, *Andon*, troca rápida de ferramentas, entre outras práticas. Com isto, identificam-se 5 princípios do LM para diminuir o desperdício e criar valor:

- O valor deve ser definido sob a ótica do cliente;
- Identificar corretamente o fluxo de valor desde a matéria-prima até à entrega ao cliente (*Heijunka*);
- Manter um fluxo contínuo de produção e evitar as interrupções (*Jidoka*);
- Produzir conforme a procura dos clientes (*Just In Time*);
- Procurar melhorar sempre os produtos com o objetivo de atingir a perfeição (*Kaizen*);

A figura 2, ilustra “The Toyota System Production House”, onde se encontram também os princípios do LM (Liker & Morgan, 2006).

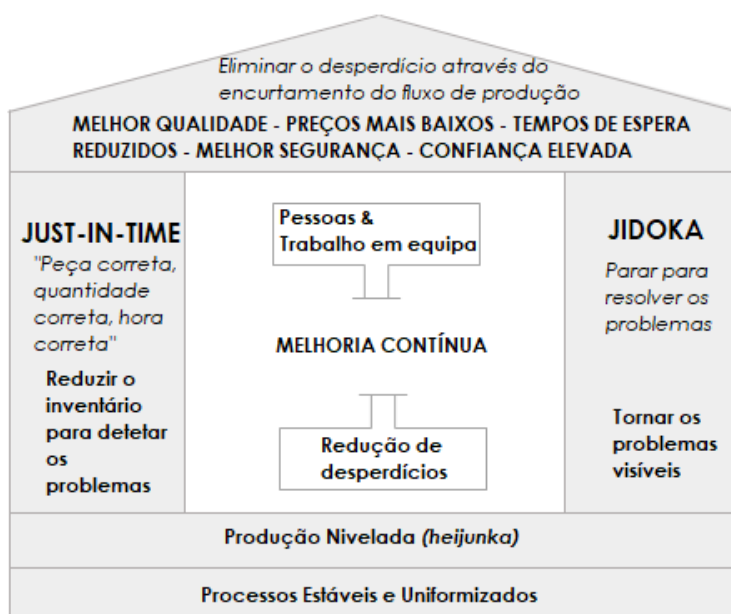


Figura 2: The Toyota System Production House, adaptado de (Liker & Morgan, 2006).

Alguns autores diferenciam a I4.0 e o LM pelo facto da I4.0 dar grande relevo à automação e de requerer elevados custos iniciais de implementação e a abordagem LM basear-se apenas em processos simples, de baixa tecnologia e que procuram a simplicidade. Além destas diferenças, a I4.0 necessita de funcionários qualificados para o seu desenvolvimento, enquanto o LM permite que os trabalhadores que desempenhavam as tarefas antes da sua implementação, continuem a desempenhá-las, sendo capazes de identificar os problemas e desencadear um processo de resolução do mesmo (Tortorella & Fettermann, 2018). Contudo, o LM e a I4.0 são abordagens semelhantes, isto porque ambas estão focadas em produzir conforme a procura dos clientes, reduzir o desperdício, melhorar a qualidade e a produtividade. Várias empresas que tencionam implementar a I4.0, demonstram já ter implementado a abordagem LM, ou seja, esta abordagem serve de base para a implementação da I4.0 e o seu apoio serve para maximizar o desempenho da produção (Buer et al., 2018).

1.4. Objetivo

A motivação para a realização deste trabalho é estudar, analisar e aperfeiçoar os conhecimentos relacionados com a I4.0, quais as ferramentas que utiliza e a forma como está a ser o suporte para as empresas mitigarem o impacto do COVID-19 no seu dia a dia. Além disto, procura-se investigar e apresentar modelos e elementos importantes que auxilie

as empresas a identificar e a compreender as suas lacunas, de modo que sejam capazes de reestruturar e adaptar os modelos de negócio às exigências atuais do mercado.

Neste sentido, procura-se apresentar uma revisão bibliográfica vasta, abrangente e completa sobre as definições e as apreciações de vários investigadores sobre a I4.0, as suas ferramentas e o contributo que estão a ter nas empresas, essencialmente na indústria. O foco e interesse na indústria tem como objetivo o entendimento sobre como os CPS e as outras tecnologias impactam positivamente as Fábricas ditas Inteligentes através da integração dos processos produtivos de ponta a ponta, gestão em tempo real da produção, virtualização e digitalização dos fluxos de produção. Apesar de se procurar apresentar uma visão geral sobre a I4.0 e as novas possibilidades que traz para as empresas, o objetivo principal é que este estudo se torne uma ferramenta importante para as empresas compreenderem a necessidade de adaptação e implementação de novas tecnologias e novos modelos de negócio para procurar aliviar a pressão provocada pelo vírus e, se possível, obter vantagens competitivas sobre os concorrentes.

1.4.1. Pertinência do tema

A escolha deste tema deve-se ao facto de ser um tema muito atual e com uma elevada margem de investigação. Apesar de existir já alguns artigos e trabalhos sobre o uso das ferramentas da I4.0, modelos de gestão e elementos importantes para amenizar o impacto do COVID-19 sobre países, empresas e pessoas, a maior parte dos estudos só enumera as ferramentas, modelos e elementos que estão a ser utilizados e não o modo como são utilizadas e os benefícios que se estão a registar da sua utilização. Além disto, a mescla de várias áreas de conhecimento de diferentes setores foi outro motivo tido em conta para a escolha deste tema, isto porque mistura os conhecimentos de gestão, engenharia e outras áreas com a necessidade final de tornar as empresas mais digitais e resiliente a crises.

1.5. Metodologias de Investigação

Este trabalho investiga o estado atual da literatura para fornecer uma visão sobre o estado da arte da I4.0, especialmente o modo como está a auxiliar as empresas a reestruturarem-se para mitigar os efeitos provocados pela crise do COVID-19. Para este estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica da literatura baseada na leitura de livros, revistas e jornais especializados, sobretudo, através de bases de dados científicas válidas como o *Taylor & Francis Group*, *Scopus*, *Web of Science*, *Science Direct*, *Springer*, além de outros artigos de empresas de consultoria, por exemplo, a *Boston Consulting Group* e a *Mckinsey Corporation*, relatórios de entidades governamentais e, ainda, a leitura de outros trabalhos académicos e da verificação das suas fontes para enriquecer o trabalho. Por ser um tema

recente, apenas foram utilizadas, no desenvolvimento do trabalho, fontes datadas de 2014 em diante, excluindo algumas fontes do enquadramento histórico e das metodologias de investigação utilizadas, pertencente ao capítulo 1, que está fundamentado com fontes anteriores a esta data.

Para se entender a metodologia de investigação utilizada, procedeu-se a uma explicação detalhada dos passos da investigação, segundo o processo de investigação, método de investigação e tipo de pesquisa. O processo de investigação é descrito pelas seguintes etapas, segundo (Saunders et al., 2016):

- Definição do tema e respetiva formulação;
- Revisão de literatura;
- Delineamento da pesquisa;
- Recolha de dados;
- Análise de dados;
- Elaboração da dissertação;

Para, (Pereira et al., 2018), a dificuldade de realizar pesquisas é a falta de conhecimento sobre as técnicas e as metodologias que se podem utilizar. Por isso, o autor distingue, entre outros, o método qualitativo e o método quantitativo:

- Método qualitativo: A interpretação do investigador é essencial sob o acontecimento que está a investigar. A recolha de dados neste método é feita, na sua maioria, por entrevistas com questões abertas (Pereira et al., 2018). A investigação qualitativa tem um maior foco na qualidade de informação, tentam compreender a forma como as pessoas interpretam o que as rodeia e as suas motivações, o objetivo é obter uma descrição completa e detalhada do que é observado (Macdonald & Headlam, 2010). Contudo, há a possibilidade dos métodos qualitativos se tornarem quantitativos, isto acontece se o investigador utilizar questões fechadas para recolher as informações como é o caso da Escala de Likert (Pereira et al., 2018).
- Método quantitativo: A recolha da dados é feita por meio da metrologia, ou seja, através da recolha de medições ou outros dados numéricos. Os cálculos matemáticos tornam-se essenciais neste método para possibilitar a análise de percentagens ou estatísticas e, assim, ajudar nas decisões a tomar sobre o acontecimento em estudo (Pereira et al., 2018). (Macdonald & Headlam, 2010) acrescenta que a investigação quantitativa se preocupa em quantificar dados e generaliza os resultados a partir de uma amostra de interesse.

Assim, (Macdonald & Headlam, 2010) conclui que o método qualitativo e o quantitativo diferem no alvo, objetivos, ferramentas utilizadas, recolha e análise de dados, tamanho da amostra e papel do investigador.

Quanto ao tipo de pesquisa, (Botelho & Cruz, 2013), explica que é preciso selecionar o tipo correto para o tema que se irá estudar. Assim, o autor apresenta alguns tipos de pesquisa como os estudos de caso, pesquisa bibliográfica, pesquisa exploratória, pesquisa descritiva, pesquisa explicativa, pesquisa documental, pesquisa experimental, pesquisa participante, pesquisa-ação, pesquisa etnográfica e método Delphi. Segundo, (Gonçalves, 2005) a pesquisa exploratória utiliza-se quando o investigador procura familiarizar-se com o conceito, permitindo um planeamento flexível e o estudo sob diversos ângulos. Para, (Botelho & Cruz, 2013), a pesquisa exploratória tem como objetivo clarificar conceitos e definir ideias mais exatas que contribuam para investigações ou pesquisas que sejam efetuadas posteriormente. Requer uma revisão bibliográfica sobre o tema e este tipo de pesquisa deve usar-se para assuntos que ainda não estejam totalmente explorados, de modo que ajude a delimitar a abrangência do tema e assim conseguir mais elementos para abordar o conceito que vai estudar.

Assim, segundo as definições recolhidas pelos autores supracitados, este estudo segue uma metodologia de investigação qualitativa e adota um carácter que se identifica com o tipo de pesquisa exploratória.

1.6. Estrutura do trabalho

Esta dissertação está dividida em 8 capítulos. Os primeiros capítulos (1 e 2) estão relacionados com as definições da I4.0, as suas ferramentas, outros modelos e elementos que são importantes para a sua implementação. Os capítulos 3, 4 e 5 abordam a pandemia do COVID-19, a relação com as crises passadas e a influência que a I4.0 e as suas ferramentas podem ter na reestruturação das empresas. O capítulo 6 é dedicado às conclusões do trabalho, o capítulo 7 apresenta a bibliografia e o último capítulo, o capítulo 8, engloba todos os anexos da dissertação. De forma detalhada, e por capítulo, o trabalho está organizado da seguinte forma:

- Capítulo 1: Incorpora o enquadramento do tema, a evolução histórica das Revoluções Industriais até aos avanços tecnológicos associados à I4.0, a relação da I4.0 com o LM, a explicação e o motivo para a escolha do tema, as metodologias de investigação utilizadas e, por fim, a estrutura do trabalho.

- Capítulo 2: É dedicado à revisão bibliográfica. Apresenta as definições e pontos de vista de vários investigadores sobre a I4.0, além de conceitos que podem atuar de forma sinérgica quando utilizados em conjunto como é o caso da servitização e do uso da EC. Depois, segue-se o estudo sobre a automação das fábricas, as tecnologias habilitadoras, a expansão da I4.0 à logística e aos serviços, um guia para avaliar a implementação da I4.0 nas empresas e, finalmente, a análise como os países estão a integrar e a auxiliar a introdução da I4.0 nas empresas.
- Capítulo 3: Apresenta o COVID-19 como uma pandemia e o seu impacto a nível mundial e sobre alguns países, analisa as piores crises financeiras e os benefícios de um modelo económico mais sustentável nos tempos atuais.
- Capítulo 4: É dedicado ao estudo sobre a reestruturação e resiliência das empresas durante o COVID-19, além de apresentar estratégias e modelos base.
- Capítulo 5: Estuda um modelo de gestão de armazéns e do processo produtivo com base nas novas tecnologias. De seguida, apresenta de forma detalhada, os benefícios da utilização de cada ferramenta da I4.0
- Capítulo 6: Expõe as conclusões do trabalho, as limitações e linhas para futuras investigações do tema.
- Capítulo 7: Apresenta a bibliografia estudada e utilizada para a redação da dissertação.
- Capítulo 8: Agrupa os anexos considerados importantes para uma melhor sustentação do trabalho desenvolvido.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

2.1. Indústria 4.0 e definições

Está em andamento um movimento a nível mundial dos países que possuem sistemas de fabricação avançados. O objetivo é revigorar as principais competências de fabricação com o uso dos mais recentes avanços nas TIC. O peso que a adoção destas tecnologias terá na competitividade da indústria irá crescer nos próximos anos, onde surgirão novas soluções para responder a novas oportunidades de negócio que surjam (Posada et al., 2015). A quarta revolução industrial divide os economistas quanto ao impacto que a mesma terá na economia global. Os tecnopessimistas defendem que as maiores contribuições da revolução digital já foram realizadas e o seu impacto na produtividade está a acabar. Os tecnotimistas acreditam que a inovação e a tecnologia estão num ponto de inflexão e em breve vão desencadear um elevado crescimento económico pelo aumento da produtividade (Schwab, 2016).

Vários autores caracterizam a I4.0 no processo de produção pelo alto nível de desenvolvimento da automação e digitalização e pelas TI (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). Como refere (Büchi et al., 2020, pp. 2-3), *“Other such terms include the “Fourth Industrial Revolution”, “Digital Factory”, “Digital Manufacturing”, “Smart Factory”, “Interconnected Factory”, “Integrated Industry”, “Production 4.0” and “Human-Machine Cooperation”.*²

² Tradução livre do autor: Outros conceitos incluem “Quarta Revolução Industrial, “Fábrica Digital”, “Fabricação Digital”, “Fábrica Inteligente”, “Fábrica Interligada”, “Indústria Integrada”, “Produção 4.0” e “Cooperação Homem-Máquina”.

Tabela 1 - Definições sobre a Indústria 4.0, na ótica de alguns autores.

Autores	Definição
(Schwab, 2016)	<p>Ao existirem <i>smart factories</i>, a quarta revolução industrial criará um mundo para que os sistemas físicos e virtuais de fabricação cooperem de forma global e flexível. Isto permite a total personalização de produtos e a criação de novos modelos operacionais. Esta revolução terá, ainda, impacto nas áreas desde o sequenciamento genético até à nanotecnologia, energias renováveis e computação quântica. A principal diferença para as revoluções anteriores é a interação entre os domínios físicos, digitais e biológicos e a difusão muito mais rápida das tecnologias e das inovações emergentes.</p>
(Wang et al., 2016)	<p>A Indústria 4.0 integra os avanços tecnológicos emergentes para melhorar o modo como a indústria lida com os desafios. As três integrações para esta revolução e que facilitam o seu desenvolvimento são:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Integração horizontal através de redes de valor para facilitar a colaboração entre empresas. - Integração vertical dos sistemas hierárquicos dentro de uma fábrica para criar uma produção flexível e reconfigurável - Integração de engenharia em toda a cadeia de valor para suportar a personalização do produto.
(Xu et al., 2018)	<p>A Indústria 4.0 representa a tendência atual das tecnologias de automação na indústria transformadora, suportada pelo avanço das TIC, abrange tecnologias como o <i>Cyber Physical Systems</i>, a <i>Internet of Things</i> e a <i>Cloud Computing</i>, além de incorporar a comunicação entre máquinas <i>Machine to machine</i>. Estão a integrar-se o espaço virtual e o mundo físico e estão a surgir as fábricas inteligentes para lidar com a complexidade da produção dos <i>Cyber Physical Systems</i>.</p>
(Kusiak, 2018)	<p>Fabricação inteligente está a integrar nos seus ativos sensores, sistemas informáticos, tecnologias de comunicação, simulação e engenharia preditiva. Utiliza os <i>Cyber Physical Systems</i>, a <i>Internet of Things</i>, a <i>Cloud Computing</i>, computação orientada para serviços e a inteligência artificial. Assim que forem implementados, serão a marca da nova revolução industrial. O autor define sete pilares para a consolidação:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tecnologias e processos de fabricação - Materiais - Dados - Engenharia preditiva - Sustentabilidade - Compartilhamento de recursos - Redes de comunicação
(Alcácer & Cruz-Machado, 2019)	<p>A Indústria 4.0 leva à era da digitalização. Tudo vai ser digital; os modelos de negócios, os ambientes, os sistemas de produção, as máquinas, os operadores, os produtos e serviços. Tudo está interligado e os fluxos físicos serão mapeados em plataformas digitais de forma contínua. O nível mais elevado de automação já permite comunicações não só dentro da fábrica, mas também fora, alcançando todos os intervenientes na cadeia de valor em tempo real. A Indústria 4.0 é o ponto de viragem para o fim das aplicações centralizadas convencionais.</p>

Segundo (Lasi et al., 2014), a I4.0 pode ser definido em duas direções. Por um lado, há uma grande procura que obriga a remodelar as condições da estrutura operativa que se baseiam em:

- Curtos períodos de desenvolvimento dos produtos obriga as empresas a inovar para se adaptarem ao mercado (*time to market*);
- Individualização da procura pelos consumidores, origina a produção de lote único (*batch size one*);
- Flexibilidade no desenvolvimento do produto e na sua produção para responder à demanda do mercado;
- Descentralização na tomada de decisões para agilizar os processos, através de uma estrutura hierárquica mais reduzida;
- Eficiência do uso de recursos devido à escassez, aumento dos preços e às preocupações ambientais e de sustentabilidade industrial;

Por outro lado, existe um grande impulso na indústria, através da inclusão na rotina diária de aplicações e dispositivos eletrónicos como os *smartphones*. Apesar das tecnologias inovadoras ainda não serem amplamente divulgadas e utilizadas na indústria, já se identificam algumas abordagens em:

- Aumento da mecanização e automação: Há um aumento das competências técnicas na produção que auxiliam o trabalho físico. A automatização terá a capacidade de efetuar operações versáteis como se fossem autónomas, além de controlar e otimizar os passos da produção de forma independente.
- Digitalização e trabalho em rede: O aumento da digitalização das ferramentas de suporte à fabricação está a resultar num aumento de sensores que suportam as funções de análise e controlo. Os processos digitais evoluem com o trabalho em rede e levam a ambientes completamente digitalizados. Com isto, surge as simulações, proteção digital ou virtual.
- Miniaturização: Antes os computadores precisavam de espaço para a sua instalação. Atualmente, contam com uma capacidade de processamento muito maior e podem ser instalados em sítios mais pequenos. Surgem novos campos de aplicação na produção e na logística.

Para (Carvalho et al., 2018) esta revolução assenta em 6 princípios fundamentais: interoperabilidade, descentralização, virtualização, resposta em tempo real, modularidade e orientação de serviço:

- Interoperabilidade: é a capacidade de máquinas e equipamentos comunicarem de forma clara com outras máquinas e equipamentos, mesmo que sejam diferentes,

originando uma rede de informação fiável e que permite o desenvolvimento das funções inteligentes.

- Descentralização: baseia-se na possibilidade de aumentar a tomada de decisões sem recorrer aos serviços centrais das empresas. Esta característica garante uma resposta mais rápida e flexível. Apenas em caso de falha é que se deve comunicar com o nível hierárquico superior.
- Virtualização: significa monitorização e comunicação entre máquinas, criando cópias virtuais do mundo físico. Fornece todas as informações necessárias como as etapas dos trabalhos ou as recomendações de segurança, além de notificar o trabalhador em caso de falha.
- Resposta em tempo real: garante a possibilidade de detetar uma falha numa máquina e encaminhar a produção para outra para evitar paragens de produção. Além de estabelecer uma ligação permanente com o ponto de venda e consumidor final para garantir mudanças rápidas na demanda e transmitir as alterações ao sistema de produção.
- Modularidade: é um princípio que permite que o *design* do produto, o planeamento de produção e a engenharia na produção sejam ligados de ponta a ponta para se conseguirem alternar, conforme necessário. Assim, os sistemas modulares são flexíveis às necessidades de substituição, ajustam-se facilmente às flutuações e mudanças específicas na produção do produto, ou seja, incorpora-se com facilidade novas tecnologias.
- Orientação de serviço: permite que os CPS, pessoas e os serviços comerciais estejam disponíveis na *internet* dos serviços e possam ser usados por outros intervenientes, mesmo que sejam exteriores à empresa. Esta característica permite uma flexibilidade muito maior e possibilita a criação de uma rede com os parceiros da empresa.

Assim, Carvalho et al., (2018), expõe princípios que coincidem com as ideias de Lasi et al., (2014). Ambos referem a importância da digitalização dos serviços, a criação de redes virtuais dentro e fora da organização e que permitem o acesso de pessoas exteriores à empresa, a automação das máquinas e a capacidade de se comunicarem entre si, a descentralização para garantir uma resposta mais rápida e flexível, e defendem a necessidade de flexibilizar e individualizar a produção para atender à demanda dos clientes (modularidade).

A necessidade de flexibilizar e aumentar os níveis de produtividade é um desafio para as organizações que procuram reduzir os custos, mas que precisam de ter uma maior oferta de produtos customizados para responder às exigências dos clientes. A flexibilidade que se

exige nos sistemas de fabricação é entendida como a capacidade de produzir uma grande variedade de produtos, sendo este um dos requisitos que as novas aplicações da robótica conseguem dar resposta (Esmaelian et al., 2016). A criação de valor é um conceito fundamental para as organizações. A capacidade das organizações para a sua criação depende das estratégias desenvolvidas para responder às necessidades do mercado. Antes, a criação de valor era medida pelo valor que as receitas excediam as despesas (lucro). Nos dias de hoje, com a quarta revolução industrial, a criação de valor está associada a fatores intangíveis como as inovações e as TIC estão a ter um papel importante de suporte nos processos de melhoria de fabricação, ajudando nas tomadas de decisão. Deste modo, no futuro, a competitividade das empresas será determinada pelas tecnologias e como são utilizadas (Tonelli et al., 2016).

2.1.1. A servitização na Indústria 4.0

A servitização é a prática que tem como objetivo criar valor aos produtos da empresa através da oferta de serviços diferenciados, assim, as fábricas, desenvolvem modelos de negócios que incluem o fornecimento de serviços com os produtos. A adoção deste conceito numa organização leva a uma necessária transformação da estrutura e dos processos para estimular as suas capacidades e garantir que o acoplamento da oferta de serviços no fornecimento de produtos coloque a empresa numa posição privilegiada para aproveitar as oportunidades de servitização. Outros autores apelidam a servitização como transição de produtos para serviços, sistemas produto-serviço, desenvolvimento do negócio para serviços, ofertas híbridas, entre outras definições (Paiola & Gebauer, 2020). As soluções disponibilizadas pelas novas tecnologias servem de base para a servitização, sobretudo, para as que possuem sistemas mais complexos (Kowalkowski et al., 2017).

Segundo, Kowalkowski et al., (2017), a servitização e a infusão do serviço referem-se a um aumento dos serviços na organização, ao passo que a deservitização e a diluição do serviço se referem a uma diminuição. De uma forma resumida, definem-se da seguinte forma:

- **Servitização:** É um conceito mais abrangente e que inclui a infusão de serviço. O modelo de negócios é alterado, substitui-se o foco no produto para uma abordagem centrada no fornecimento de serviços. Para a introdução deste conceito numa organização é necessária a reconfiguração da sua estrutura, capacidades, alteração de rotinas e uma redefinição da missão da empresa. O modelo de negócios de serviço firma o compromisso do fornecedor em criar valor para o cliente através do serviço, por exemplo, assegurar um determinado nível de desempenho do produto, trazendo uma maior responsabilidade para fornecedor do que o modelo de negócios centrado no produto. Além disto, há a

necessidade de reformular a lógica de negócios, isto é, colocar a empresa de acordo com a atividade que passa a desempenhar devido ao processo de servitização.

- **Infusão do serviço:** Negócio orientado para os serviços aumenta devido à importância que a disponibilização de serviços tem para uma empresa. É medida através do número de serviços oferecidos, número de clientes que usufrui dos serviços e a importância relativa dos serviços. Além da evolução do modelo de negócio centrado no produto para a centralização no serviço, a padronização de sistemas de serviços complexos também facilita e aumenta o negócio orientado para os serviços.
- **Deservitização:** É o processo que altera o modelo de negócios de uma empresa que era centrado no serviço para um modelo de negócios centrado no produto. Ocorre, sobretudo, quando as empresas enfrentam mercados de preços competitivos e deixam de oferecer o acoplamento do serviço com o produto por não ser economicamente viável.
- **Diluição do serviço:** Negócio orientado para o produto aumenta devido à diminuição da importância relativa à disponibilização de serviços para a empresa, diminuindo assim a oferta de serviços.

A figura 3, ilustra os 4 conceitos abordados:

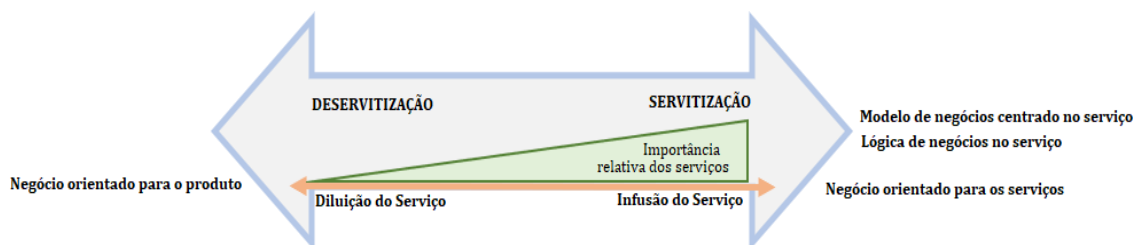


Figura 3: Os conceitos chave do aumento/diminuição dos serviços nas empresas, adaptado de (Kowalkowski et al., 2017)

As tecnologias da I4.0 estão a permitir que a servitização seja feita de forma inteligente e com tecnologias digitais. Esta condição cria o conceito de servitização digital que possibilita o fornecimento de serviços inovadores (Paiola & Gebauer, 2020). A aplicação de tecnologias da I4.0 como a IoT, *Big Data* (BD), simulações e *Cloud Computing* (CC) é feita para criar valor, sobretudo, na reconfiguração de atividades da empresa, por exemplo, na assistência pós-venda, na produção e na cadeia de abastecimento (Paschou et al., 2020). A IoT usa os dados do BD dos clientes para criar produtos/serviços mais personalizados e assim conseguir criar valor. Assim, a servitização digital permite que a relação com o cliente deixe

de ser meramente transacional e passe a ser relacional, uma vez que o produto deixa de ser o motivo da relação e passa a ser apenas mais um elemento (Paiola & Gebauer, 2020).

Em termos de benefícios, segundo (Paschou et al., 2020) a servitização digital beneficia clientes, fornecedores e para o meio ambiente da seguinte forma:

- Clientes: Capacita e melhora o desempenho do cliente, protege a transmissão de dados, minimiza o tempo de inatividade e aumenta a personalização e flexibilidade.
- Fornecedores: Diminui o uso e o gasto de recursos, melhora a manutenção, fortalece a competitividade, melhora o desempenho, cria novas oportunidades de negócio, sobretudo, através da plataforma criada.
- Meio ambiente: Impacto ambiental positivo (produção sustentável, diminuição do uso de recursos).

Com isto, a servitização digital impacta os modelos de negócio, as capacidades da empresa, as cadeias de distribuição e atua como uma vantagem competitiva. Assim, para garantir suporte e competência, é necessário a criação de um ecossistema entre os fornecedores e todas as partes interessadas (Paiola & Gebauer, 2020).

2.1.2. Economia Circular como suporte para a I4.0

Segundo alguns autores, por exemplo, Su et al., (2013) o conceito de EC foi abordado pela primeira vez por Pearce & Turner, em 1990, no livro “*Economics of Natural Resources and the Environment*”. Para Rosa et al., (2020), a EC é um modelo que tem como objetivo minimizar o consumo dos recursos limitados, havendo assim a necessidade de focar no *design* e criação de produtos inteligentes. Este modelo é visto como uma alternativa à Economia Linear que se baseia na compra-uso-descarte dos produtos sem dar relevância à reutilização.

A Economia de Loop é uma das características da EC que tem como objetivo diminuir na produção industrial o desperdício de recursos, o consumo de energia e promover a desmaterialização das economias industriais (Geissdoerfer et al., 2017). Segundo Su et al., (2013), apesar de ser importante recuperar e reutilizar os recursos já utilizados é igualmente importante diminuir os recursos que se extraem do meio ambiente para depois se usarem na produção, assim o objetivo é a eficiência do processo desde a produção até ao cliente final criando um fluxo de ciclo fechado. A visão da EC em tornar a economia mais ecológica assenta em 3 princípios:

- Económico: Maior competitividade e produtividade pelo melhor aproveitamento e uso dos recursos;
- Ambiental: Reduz o impacto ambiental e os efeitos colaterais pela alteração para uma produção mais ecológica;
- Social: Cria emprego e, conseqüentemente, melhora a qualidade de vida das pessoas;

Para Hopkinson et al., (2020), a transição para um modelo de EC leva a uma alteração do conceito de criação de valor. A criação de valor será maior se os 4 seguintes blocos conhecidos como “poder dos loops” estiverem sistematizados entre si, ou seja, não atuem de forma independente:

- *Design* e produção de produto circular: Deve definir-se a finalidade dos produtos/materiais e saber se se enquadram em ciclos técnicos (materiais sintéticos), isto é, são os materiais que são usados até ao fim de vida e posteriormente são reconicionados ou reciclados, ou em ciclos biológicos (materiais renováveis), ou seja, são os materiais que são usados até ao fim da sua vida e posteriormente são devolvidos à natureza para se regenerarem.
- Novos modelos de negócios (revenda, internalização e com base no desempenho): A revenda é a reintrodução dos produtos no mercado, mas a preços reduzidos. A internalização consiste na introdução de práticas no início das cadeias de produção para melhorar os custos e a resiliência contra a volatilidade das matérias-primas. Por fim, com base no desempenho é a implementação da prática “pagar por usar”, ou seja, é cobrada uma tarifa por uso, por exemplo à hora.
- Ciclo reverso: Vai mais além dos limites de empresa e o objetivo é criar um ciclo fechado entre várias empresas que pode ir desde o desenvolvimento dos produtos, a produção e distribuição.
- Condições favoráveis do sistema: Um ecossistema da EC não é estático e é necessária a capacidade de saber lidar com as pressões e reformular as estratégias da EC, por exemplo.

A I4.0 deve ser considerada quando se adota um modelo de EC, sobretudo, ao nível da digitalização, o impacto que pode ter na implementação de novos modelos de negócios circulares, os benefícios na cadeia de valor e o envolvimento entre os *stakeholders* e a organização, além de outros benefícios das ferramentas I4.0 (Rosa et al., 2020). A Fabricação Aditiva (FA) permite a refabricação/reprodução dos produtos através de duas técnicas, “Directed Energy Deposition” e “Powder Bed Fusion” (Lahrour & Brissaud,

2018). Alguns especialistas consideram a atualização do processo de reciclagem atual por um novo processo mais sustentável ou o desenvolvimento de novos modelos de negócio com foco nos materiais reciclados através do uso das funcionalidades da FA. Além da FA, há outras ferramentas consideradas importantes na implementação de uma estratégia da EC como a IoT que permite a digitalização, a gestão do ciclo de vida do produto e a sua circularidade em ambientes industriais inteligentes e as simulações como uma ferramenta de criação de modelos que servem também de suporte à decisão (Rosa et al., 2020).

2.2. As Fábricas Inteligentes e as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0

2.2.1. As Fábricas Inteligentes da Indústria 4.0

Segundo (Alcácer & Cruz-Machado, 2019), vários autores defendem que as Fábricas Inteligentes (FI) é que edificam a I4.0. Osterrieder et al., (2020) julgam que as FI ainda são um conceito em construção, não tendo uma definição absoluta. Contudo, as FI baseiam-se numa ideologia de sistemas completamente autónomos e robôs interoperáveis que comunicam através de sensores que lhes permite receber, enviar, processar informação e agir em conformidade com os dados, monitorizados através de sistemas informáticos que permitem um fluxo de produção contínuo, previligiando a qualidade e respeitando os pedidos dos clientes, todas estas tarefas são executadas sem a intervenção humana. Para Lasi et al., (2014) a autonomia dos equipamentos físicos que constituem as FI deve-se a tecnologias inteligentes que digitalizam os processos e os armazenam em sistemas ubíquos que permite que fiquem disponíveis onde sejam necessários.

As FI baseiam-se num conceito de produção descentralizado onde os CPS são a base das FI que permite a integração de ponta a ponta em toda a cadeia de valor, suportado pelo mundo cibernético através da CC e da IoT (Alcácer & Cruz-Machado, 2019).

A figura 5 ilustra esta integração.

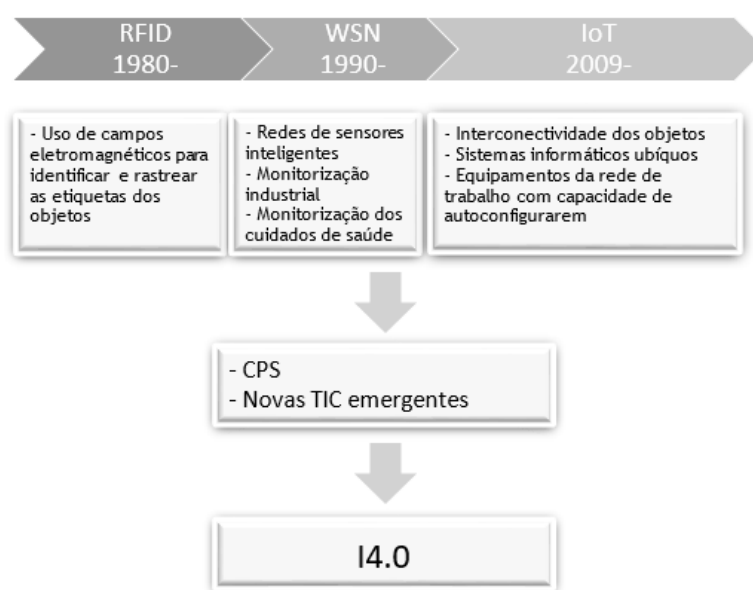


Figura 5: A evolução das tecnologias que habilitam a Indústria 4.0, adaptado de (Xu et al., 2018).

O que diferencia os CPS dos sistemas tradicionais de TIC é a capacidade de resposta em tempo real no mundo físico o que permite controlar os processos produtivos (Boyes et al., 2018). Os sistemas antecessores do CPS são encontrados em algumas indústrias, por exemplo, a aeroespacial, a química ou a da saúde. CPS são a base da I4.0, os componentes físicos e virtuais são integrados, estes sistemas garantem capacidade, adaptabilidade e segurança para as diferentes situações. A evolução destes sistemas permitem inovações e progressos em variadas áreas que vão além das indústrias tradicionais (Xu et al., 2018).

Para Lu (2017), os CPS constituem-se por controladores de reduzidas dimensões que controlam os sensores e os atuadores³, e efetuam a troca de informações e dados para sistemas computadorizados embutidos, CC ou outras redes de armazenamento sem fios. A capacidade dos CPS integrarem toda a cadeia de valor do produto permite uma melhoria no desempenho das fábricas por transmitirem informações de sistemas que estejam com alguma falha. A melhoria no desempenho é traduzida num aumento de produtividade, produtos de maior qualidade com um custo de produção mais baixo.

³ Dispositivo que promove o movimento da máquina.

Rüßmann et al. (2015), de uma forma mais sintetizada, diz que os CPS são sistemas inteligentes que controlam os elementos físicos da produção, uma vez que são capazes de comunicarem de forma autónoma uns com os outros através da IoT, além de terem a capacidade de prever falhas e de se autoconfigurarem. Alcácer & Cruz-Machado (2019) refere que a criação de sistemas inteligentes, além da estabelecer a comunicação *Machine to Machine* (M2M), permite o aperfeiçoamento da relação laboral entre o trabalhador e a máquina.

2.2.3. Cyber-Physical Production Systems

Segundo, Xu et al. (2018), a necessidade dos CPS na I4.0 levou à criação dos CPPS que, à imagem dos CPS, unem o mundo virtual e o físico permitindo que os equipamentos das FI se tornem cada vez mais inteligentes para permitir uma produção inteligente com o objetivo de diminuir os tempos de produção, o uso de recursos e conseguir outras vantagens competitivas em relação aos sistemas de produção clássicos.

Para Lu (2017), os CPPS integram a totalidade dos sistemas de fabricação com o envolvimento das pessoas, máquinas, produtos e processos. A existência de redes para interligar os processos produtivos nas fábricas serve para os CPPS monitorizar e controlar os processos, obter *feedback* e avaliar o desempenho. Refere, ainda, o autor que os “*Virtual Engineering Objects*” (VEO) são redes usadas nos CPPS para recolher dados e reutilizar experiências para ajudar no processo de tomada de decisão, uma vez que integra os vários processos de produção da empresa, sendo capazes de estabelecer a troca de informações entre máquinas complexas e que executem diversas tarefas. Uma rede VEO consegue armazenar, partilhar e melhorar o conhecimento através do processo produtivo.

Pérez et al. (2015) aborda 3 estruturas para os CPPS verticalmente integradas entre os processos produtivos e as áreas de negócios de modo a que seja possível extrair informações através do BD sobre os processos produtivos. Cada estrutura é composta por modelos pré estabelecidos que criam um espaço cibernético que integra o mundo real e o virtual:

- *Production Process Model* (PPM): Este modelo define-se por organizar e disponibilizar os dados criados durante o processo de produção pelos próprios meios de produção, por exemplo, robôs ou outros equipamentos inteligentes;
- *Information Exchange Model* (IEM): É o modelo mais eficiente e que melhor sustenta os CPPS, é composta por *Atomic Services* (AS) que faz a recolha de dados através de um conjunto de serviços básicos sobre o pré-processamento, segurança e monitorização, o *Logical Process Nodes* (LPN) representa o processo do PPM, ou seja, para cada PPM existe um LPN dedicado exclusivamente a si, por fim, os *Cyber-*

Physical Systems Logical Devices (CPSLD) são os equipamentos inteligentes do PPM onde está implementada os CPPS.

- *Plant Information Model* (PIM): Este modelo está estruturado para apresentar as informações que o utilizador pretende receber, por exemplo, dos passos de um processo de produção, como está orientado para o utilizador, pode ser acessado por um dispositivo remoto;

No seu estudo de 2017, Yang Lu , identifica 4 níveis de interoperabilidade que tornam a I4.0 e os CPS mais produtivos e menos dispendiosos:

Specifically, the operational interoperability illustrates general structures of concepts, standards, languages, and relationships within CPS and Industry 4.0. The systematic interoperability identifies the guide-lines and principles of methodologies, standards, domains, and models. The technical interoperability articulates tools and platforms for technical development, IT systems, ICT environment, and related software. The semantic interoperability ensures information exchange among different groups of people, malicious packages of applications, and various levels of institutions⁴ (Lu 2017, p. 5).

⁴ Tradução livre do autor: Especificamente, a interoperabilidade operacional ilustra estruturas gerais de conceitos, padrões, linguagens e relacionamentos nos CPS e na I4.0. A interoperabilidade sistemática identifica as diretrizes e os princípios de metodologias, padrões, domínios e modelos. A interoperabilidade técnica cria uma articulação para ferramentas e plataformas para o desenvolvimento técnico, sistemas TIC e programas relacionados. A interoperabilidade semântica garante a troca de informações entre diferentes grupos de pessoas, programas maliciosos e nos vários níveis da hierarquia.

A figura 6 ilustra os 4 níveis de interoperabilidade que tornam a I4.0 e os CPS mais produtivos, além de mostrar os vários campos em que os CPS e CPPS podem atuar para os tornarem inteligentes.

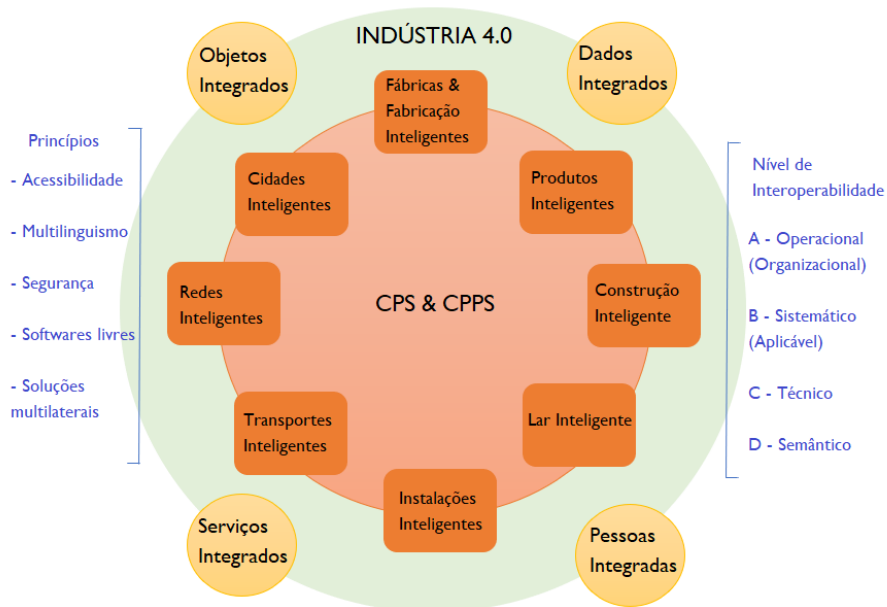


Figura 6: A interoperabilidade e os vários campos de aplicação da I4.0, CPS&CPPS, adaptado de Lu (2017).

2.3. Os 10 Pilares da Indústria 4.0

Chen (2017), identifica 10 tecnologias que considera ser a base da I4.0, 6 tecnologias atuam como elementos de suporte e 4 como elementos fundamentais. Nas 6 tecnologias de suporte refere-se a FA, robôs autônomos, novos materiais, RA, IIoT e CPS. Os 4 elementos fundamentais são a BD, CC, aplicações e aparelhos móveis.

Rüßmann et al. (2015) identifica 9 avanços tecnológicos que formam a base para a I4.0 e permitem tornar os processos mais flexíveis, mais eficientes, de maior qualidade e a custos mais reduzidos, contribuindo para uma maior competitividade da indústria. Segundo, Alcácer & Cruz-Machado (2019), os 9 avanços tecnológicos são: BD, Rôbos Autônomos, Simulações, Sistemas Integrados, IoT, Segurança Cibernética (SC), FA, Realidade Aumentada (RA) e CC.

Büchi et al. (2020) fala sobre 10 pilares de suporte à I4.0, os 9 avanços tecnológicos publicados por Rüßmann et al. (2015) no “*Boston Consulting Group*”, mas acrescenta outro avanço tecnológico difundido por alguns autores mais recentemente, o avanço que abrange

as outras tecnologias habilitadoras que servem de suporte a temas como o consumo sustentável de energia ou a produção de bio-produtos.

Assim, de seguida, serão abordados os 10 avanços tecnológicos apresentados por (Büchi et al., 2020).

2.3.1. Internet of Things

As bases da IoT foram criadas no “*Massachusetts Institute of Technology*” (MIT) pelo grupo de trabalho *Auto-ID Center*, em 1999, enquanto trabalhavam numa rede que incorporava tecnologia RFID e sensores de última geração. Para a “*Cisco Internet Business Solutions Group*” (Cisco IBSG), o surgimento da IoT é o momento em que mais aparelhos estão conectados à *Internet* do que pessoas. Com isto, a Cisco IBSG fundamenta que a IoT nasceu algures entre 2008 e 2009 quando o número de aparelhos conectados à *Internet* ultrapassou o número de pessoas existentes no planeta. A estimativa aponta, em média, 6,58 aparelhos conectados à *Internet* por cada pessoa em 2020 o que significa 50 biliões de dispositivos conectados numa população mundial de 7,6 biliões de pessoas (Evans, 2011).

A tecnologia de quinta geração (5G) está associada à IoT, uma vez que a sua introdução, nos anos 2000, prometeu criar uma estrutura de rede capaz de conectar biliões de dispositivos de forma virtual e assim facilitar tarefas do dia a dia dos humanos, sendo um pilar importante para o aparecimento do conceito de “*ciudades inteligentes*”. Em contrapartida, apresenta custos de implementação muito mais elevados do que as tecnologias anteriores de quarta geração (4G) (Allam & Jones, 2021). A IoT permite que as pessoas e os dispositivos estejam conectados à *Internet* em qualquer lugar e a qualquer hora. Os dispositivos conseguem comunicar-se entre si sem intervenção humana, sendo já usados em alguns serviços públicos, por exemplo, nos transportes e nos serviços de saúde. A IoT utiliza como tecnologias habilitadoras dispositivos ubíquos, por exemplo, as redes RFID, *middleware*, CC, “*Software Defined Networking*” (SDN), WSN e outras aplicações da IoT. Criam-se cópias virtuais do mundo físico que permite que os sistemas de produção possam ser controlados de forma descentralizada por dispositivos que conseguem ajustar a produção conforme necessário (Alcácer & Cruz-Machado, 2019).

Segundo Li et al., (2015), a necessidade de integrar o mundo físico e o virtual sem falhas originou a criação de uma estrutura na IoT que garante interoperabilidade entre os vários dispositivos, a *Service-oriented Architecture* (SoA). A SoA é definida por um conjunto de 4 camadas distintas:

- Camada de deteção: Detetar, integrar e trocar dados entre os dispositivos. Os dispositivos possuem uma identidade virtual única que permite a sua monitorização

para os fins desejados. Para cada dispositivo IoT, deve-se determinar o custo, tamanho, recursos e consumo de energia para ser o menor possível, além de avaliar o desempenho, a heterogeneidade, o tipo de comunicação e a rede que utiliza.

- Camada de dados: Serve como armazenamento e suporte para as informações que são transferidas da camada de detecção para a camada de serviço, permitindo a conexão de todos os dispositivos;
- Camada de serviços: Utiliza tecnologias que permitem a interoperabilidade entre os diferentes tipos de dispositivos e garante mecanismos que permitem o armazenamento e a troca de dados, mas apenas do que é essencial;
- Camada de aplicações: Conecta e gere todos os dispositivos para que interajam de forma simples e acessível com os que têm acesso ao sistema;

A figura 7 retrata a SoA para a IoT.

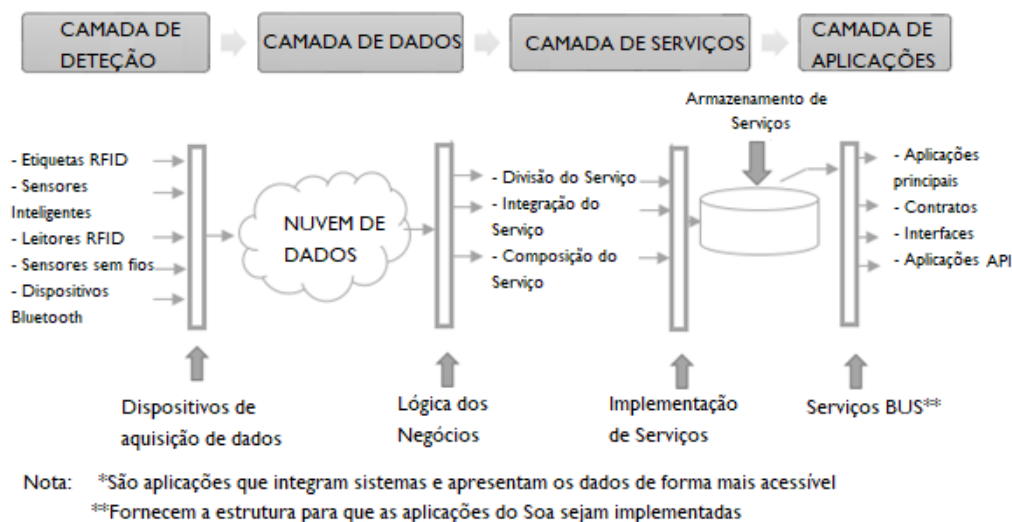


Figura 7: - A aplicação das camadas SoA para a IoT, adaptado de (Li et al., 2015).

Nas FI, a IoT e os CPS integraram-se para criar a “Internet of Services” (IoS) (Pisching et al., 2015 apud Pérez et al., 2015). A IoS pode ser vista como uma evolução da IoT que cria mais valias para as empresas através dos serviços virtuais (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). Ao passo que a IoT estabelece a comunicação em tempo real e é mais conhecida por englobar os dispositivos, sensores, máquinas e outros equipamentos tangíveis, a IoS abrange os conceitos intangíveis e garante a comunicação e a possibilidade de se prestar serviços internos e externos à empresa (Carvalho et al., 2018). Esta possibilidade de prestar serviços internos e externos à empresa permite que todos os intervenientes da cadeia de valor os usufruam e os prestem, tendo como suporte o BD e a CC (Smit et al., 2016).

Para a indústria, a IoT necessita de disponibilizar dados em tempo reais e fiáveis, por isso a IIoT é a versão Industrial da IoT e conecta todos os dispositivos e máquinas do ambiente industrial à *Internet*, tendo o contributo da BD para aumentar a sua eficiência (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). Chen (2017), explica que a IIoT foi criada pela *General Electric*, especificamente para a indústria porque permite uma melhor integração e conexão entre todos os agentes do processo produtivo, criando valor para a empresa. Em contrapartida, tem de ser protegida por sistemas de segurança mais robustos e segmentada em vários endereços diferentes para evitar acessos ou roubos de informações.

Para Boyes et al., (2018) a IIoT é um sistema que integra os CPS e outras tecnologias estabelecidas por redes inteligentes, além de plataformas de armazenamento de dados em tempo real como a CC. Os equipamentos inteligentes e autónomos analisam e trocam informações sobre serviços e produtos de modo a otimizar a cadeia de produção e criar valor. A criação de valor pode incidir sobre o aumento da produtividade, a diminuição do consumo de matérias primas e energias, a diminuição da mão de obra necessária e uma melhoria na entrega aos clientes dos produtos ou serviços prestados.

A figura 8 ilustra uma rede de trabalho da IIoT.

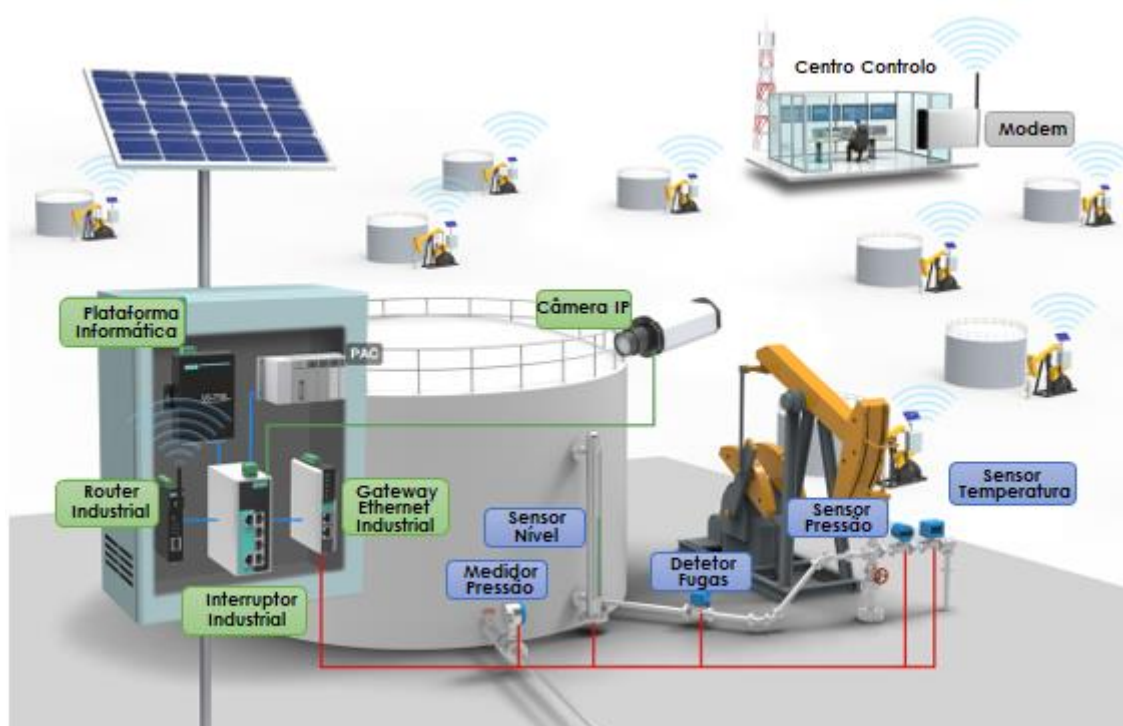


Figura 8: Rede de trabalho IIoT, adaptado de (Medium Corporation, 2017)

A *Bosch Rexroth*, equipou uma fábrica de produção de válvulas com um processo de produção descentralizado. Os produtos são identificados por RFID e sistema de produção

recebe a informação e executa as tarefas específicas que cada produto necessita antes de ser encaminhado para a próxima fase (Rüßmann et al., 2015).

2.3.2. Cloud Computing

A CC é uma tecnologia que coloca a informação disponível e ao acesso de qualquer utilizador que apenas precisa de ter acesso à *Internet* (Chen, 2017). Segundo, Alcácer & Cruz-Machado (2019) representa uma redução de custos por não necessitar de estruturas de TI, a não ser o dispositivo que vai aceder à CC. A CC é apresentada em 3 camadas estruturadas:

- “*Infrastructure as a Service*” (IaaS): É a camada que possibilita que os utilizadores possam gerir as aplicações, sistema operativo, definições de segurança e bases de dados;
- “*Platform as a Service*” (PaaS): Esta camada possibilita que os utilizadores apenas dirijam e desenvolvam as aplicações;
- “*Software as a Service*” (SaaS): É a camada de maior eficiência e desempenho, permite a execução de sistemas CAD e ERP, os utilizadores não conseguem administrar, apenas consultar;

Para o ambiente industrial, Alcácer & Cruz-Machado (2019) abordam a *Cloud Manufacturing* (CMfg). A CMfg pode ser usada em 2 abordagens distintas:

- Usar as aplicações armazenadas na CC/CMfg através da *Internet* diretamente nos processos de produção, podendo ser usados nas camadas SaaS e PaaS;
- Usar a CMfg como um novo tipo de armazenamento baseado na estrutura SoA e imita a camada IaaS;

A CMfg permite que os CPS recebam informações e dados dos produtos que se pretendem e iniciem a produção, além disto, possibilita que utilizadores acompanhem as fases de produção e orientem os serviços, permitindo a modularidade (Xu et al. 2018). Esta tecnologia abrange a CC, BD, IoT, CPS e outros recursos virtuais de empresa. Ao permitir a cooperação destas tecnologias, a CMfg atinge uma fase de desenvolvimento inteligente que se traduz em soluções mais flexíveis e de custos mais reduzidos para a empresa porque a plataforma tem a capacidade de disponibilizar ordens de produção autónomas para os sistemas de produção (Alcácer & Cruz-Machado, 2019).

2.3.3. Big Data

Esta ferramenta é um componente essencial para o desenvolvimento da IoT, a sua característica baseia-se na grande capacidade de armazenar, processar e analisar dados complexos, estruturados e não estruturados, a uma grande velocidade, transmitindo apenas as informações úteis e necessárias, incorporando todo o processo que caracteriza o ciclo de vida do produto. A capacidade de resposta em tempo real das empresas é permitida pela proatividade que esta característica da I4.0 fornece aos sistemas avançados de fabricação (Chen, 2017).

Segundo, (Alcácer & Cruz-Machado, 2019), o uso do BD permite gerar valor para a empresa, sendo que as seguintes características definem esta ferramenta da I4.0:

- Volume: Requer uma capacidade de armazenamento de vários *terabytes* e *petabytes*;
- Variedade: Capacidade de gerar dados úteis e necessários a partir da heterogeneidade de fontes que os introduzem;
- Velocidade: Análise, seleção e entrega dos dados úteis e necessários a grande velocidade;
- Veracidade: Algumas fontes de dados não são confiáveis, é necessária a análise pelo BD para credibilizar os dados;
- Visão: Os dados apenas devem ser gerados sob algum propósito;
- Volatilidade: Avalia a vida útil dos dados e troca os dados antigos por dados mais recentes;
- Verificação: Garante a conformidade dos dados gerados para qualquer processo específico;
- Validação: Assegura a conformidade dos dados e de todos os processos anteriores que sejam requeridos;
- Variabilidade: Variação da taxa de fluxo de dados em termos de complexidade e variação;
- Valor: Define os benefícios económicos gerados pela transformação de dados do BD;

A análise do BD permite identificar e resolver os gargalos criados pela IoT, é essencial para a fabricação digital e a sua capacidade de gerar dados a partir de várias fontes possibilita a personalização na produção conforme as exigências dos clientes ou detetar atempadamente produtos defeituosos. Além dos dados da IoT servirem como suporte e convergirem para a BD, a CC serve como infraestrutura do BD e o BD utiliza as capacidades da CC.

A *Infenion Technologies* reduziu a produção de *chips* defeituosos com a correlação de dados entre um *chip* que já se encontrava na fase final e outro que estava na fase inicial do processo. Essa análise permitiu descartar os *chips* defeituosos logo no início e, conseqüentemente, melhorar a qualidade de produção (Rüßmann et al., 2015).

2.3.4. Robôs autônomos

Os primeiros robôs surgiram na indústria para substituir os trabalhadores de tarefas simples e repetitivas, sendo possível uma linha de montagem só com robôs a cumprir esse tipo de tarefas. Avanços tecnológicos permitiram maior flexibilidade nas tarefas dos robôs e passaram a realizar tarefas em conjunto com os humanos, assim os robôs executam as tarefas repetitivas e perigosas e os humanos executam tarefas mais complexas. Contudo, estes avanços tecnológicos requerem um programa de segurança contínuo que evite que os humanos entrem no campo de trabalho dos robôs quando estes estão a executar tarefas (Ben-Ari & Mondada, 2017).

As exigências dos clientes alteraram as necessidades de produção em massa para uma produção personalizada que obrigou a desenvolver as capacidades nos robôs para se reconfigurarem de forma autônoma. A flexibilidade alcançada nos robôs deveu-se a desenvolvimentos na computação, comunicação, autonomia e controlo que se combinaram com pequenos e poderosos processadores e inteligência artificial (IA). Os robôs com IA tornam-se autônomos (tomam as próprias decisões em conformidade com as alterações que surgem no ambiente fabril) o que resulta numa redução de custos pela adaptação às necessidades de fabricação. Na indústria, os robôs autônomos usam-se, na sua maioria, para o desenvolvimento dos produtos e para a fase de montagem. Cada vez mais, estão a executar tarefas mais complexas o que os aproxima das capacidades humanas, a um ponto que conseguem trabalhar lado a lado e interagir com os humanos. Estes robôs são conhecidos como *Collaborative Robots* (Cobots) (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). Chen (2017) defende que as necessidades de lidar com situações complexas em ambiente industrial está a levar a uma rápida implementação dos Cobots como uma tecnologia indispensável.

A figura 9 mostra os vários ambientes em que os robôs já se conseguem deslocar e as áreas onde já dão o seu contributo, tanto na indústria como noutras áreas consideradas não industriais.

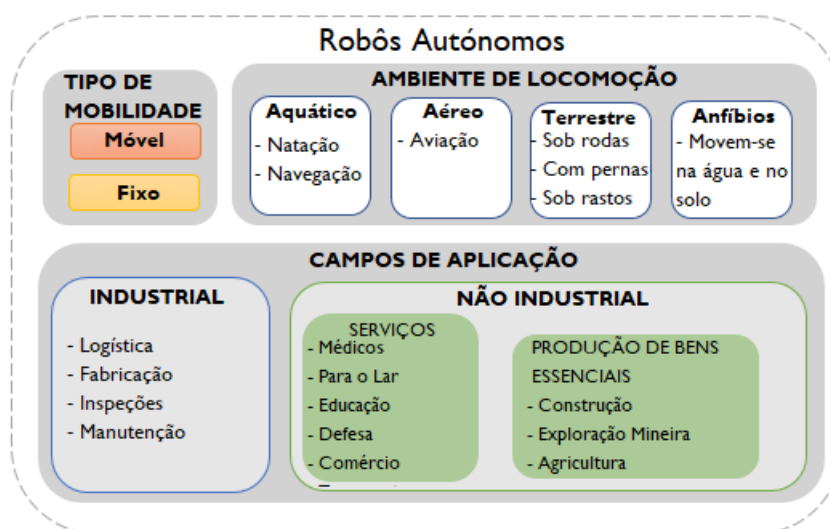


Figura 9: Caracterização & Campos de Aplicação dos Robôs Autónomos, adaptado de (Alcácer & Cruz-Machado, 2019).

Rüßmann et al. (2015) dá o exemplo de uma empresa europeia que fabrica equipamentos robóticos, a *Kuka*, estando a comercializar Cobots. Estes robôs estão preparados para interagirem entre si, dotados de IA e utilizando sensores de última tecnologia conseguem desempenhar as mesmas tarefas que os humanos. Além desta empresa, a ABB, criou um robô com dois braços, o *Yumi*, específico para a montagem, por exemplo, de dispositivos eletrónicos.

2.3.5. Simulações

As simulações por computador são indispensáveis para a I4.0 no que diz respeito à qualidade e eficiência. Este pilar serve de auxílio para aperfeiçoar os produtos e processos, sobretudo os complexos, com diversos tipos de análises o que permite uma redução de tempo no ciclo de desenvolvimento do produto e uma conseqüente diminuição de custos. A simulação efetuada pelo computador cria uma cópia virtual do equipamento ou do sistema de produção que permite que sejam efetuadas alterações virtuais em determinado equipamento ou sistema de produção antes que sejam implementadas de forma real (Alcácer & Cruz-Machado, 2019).

Para (Mourtzis et al., 2014), cada organização deve escolher o modelo que melhor se adequa para representar o sistema que pretendem:

- Simulação estática: É independente do tempo e é utilizada em sistemas imóveis;
- Simulação dinâmica: Evolui com o tempo e utiliza-se em intervalos regulares de tempo;

A simulação é considerada *offline*, quando não tem grande interferência no processo de produção, é o caso dos esboços/desenhos. A simulação *online* refere-se ao processo operacional e necessita de respostas em tempo real, quando integra as TI na simulação é possível prever o desempenho do chão de fábrica e do processo produtivo. A simulação em tempo real acontece quando é executada no computador e no sistema físico em simultâneo o que requer o uso da IoT para disponibilizar esses dados em tempo real, as fábricas que utilizam estas simulações fidedignas em tempo real são conhecidas como Fábricas Virtuais. O *Digital Twin* (DT) é uma versão mais atual das Fábricas Virtuais e baseia-se numa simulação altamente fidedigna de todas as etapas de produção para obter dados para melhorar a produtividade (Alcácer & Cruz-Machado, 2019).

Rüßmann et al. (2015) dá como o exemplo a *Siemens* e um fornecedor de máquinas alemão que desenvolveram uma máquina com a capacidade de simular virtualmente o processo de moldagem das peças com dados do equipamento testado e isso representou uma diminuição de 80% no tempo de *setup* da máquina.

2.3.6. Sistemas Integrados (vertical, horizontal e ponta a ponta)

A introdução desta abordagem ocorreu por volta de 1960 com os avanços na computação digital e permitiu que os equipamentos e dispositivos de fabricação deixassem de estar isolados e comesçassem a fazer parte de um único sistema, devidamente coordenado, com o objetivo de melhorar a produtividade das fábricas. A integração dos sistemas foi sendo aprimorada. A I4.0 com as tecnologias da IoT e da CPS revolucionaram a integração dos sistemas, uma vez que antes estavam limitados a laborar apenas com as matérias primas, os dispositivos e os equipamentos das fábricas, mas agora, com as novas tecnologias, permitem um processamento muito maior de dados e conseguem disponibilizar informações em tempo real, tendo-se dividido este aprofundamento dos sistemas integrados em 3 níveis: integração vertical, integração horizontal e integração de ponta a ponta (Chen, 2017):

- Integração vertical: Esta integração é feita no seio da empresa e baseia-se numa rede que estabelece a comunicação entre os diferentes níveis da hierarquia da empresa que têm importância no ciclo de vida do produto. O processo de fabricação é digitalizado na totalidade e coloca disponível em tempo real todos os dados, por

exemplo, a qualidade da produção e a eficiência do processo. Esta abordagem possibilita a produção de pequenos lotes personalizados (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). Programas como o *Manufacturing Execution System* (MES) e o *Computer Aided Process Planning* (CAPP) são utilizados para auxiliar a partilha de informações sobre os ciclos de vida de produto dentro da empresa (Chen, 2017);

- Integração horizontal: Esta integração é feita através de sistemas de informação entre empresas que criam laços de colaboração com o objetivo melhorar o ciclo de vida do produto, criando um ecossistema que fomente a criação de valor e a interoperabilidade entre os sistemas das empresas intervenientes (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). Contudo, há desafios como a proteção de dados e de propriedade das empresas. Estes desafios podem ser ultrapassados com a implementação de uma base de IIoT para criar uma rede comum entre as empresas que garante a segurança individual dos dados de cada empresa enquanto promove a eficiência e a qualidade na integração horizontal (Chen, 2017).
- Integração de ponta a ponta: Este tipo de integração só é possível com máquinas inteligentes que cumpram os requisitos dos CPS e torna viável a produção individualizada (Kagermann et al. 2013). É baseada nas outras duas, a vertical e a horizontal, e tem como objetivo diminuir as falhas entre o que é solicitado à empresa, o que é fabricado e o que é entregue ao cliente (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). (Wang et al. 2016) acrescenta que a cadeia de atividades que esta abordagem integra (requisito do cliente, *design*, desenvolvimento do produto, planeamento da produção, produção, serviços prestados, manutenção e reciclagem) serve para criar valor para a empresa, sendo que um modelo fixo de um produto pode ser reutilizado em todas as etapas, sendo depois personalizado conforme as exigências do cliente.

A figura 10 ilustra as 3 integrações apresentadas, sendo que as setas com um tom de laranjas mais escuro representam a integração vertical, a seta com um tom de laranja mais claro a integração horizontal e a linha verde a integração ponta a ponta. A integração vertical é representada dentro de cada organização, a integração horizontal é representada entre todas as empresas e a integração ponta a ponta é representada pela ligação entre a empresa que desenvolve o projeto, a que fabrica o produto e a que presta o serviço de logística.

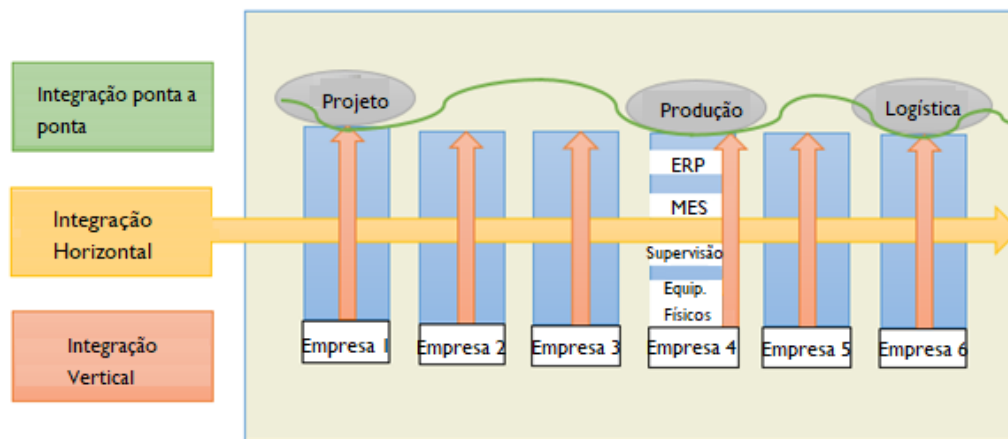


Figura 10: Os 3 tipos de sistemas integrados, adaptado de (Wang et al., 2016).

Rüßmann et al. (2015) dá como exemplo as empresas *Dassault Systèmes* e *Boost Aero Space* que criaram a plataforma *AirDesign* para a colaborarem no desenvolvimento da indústria aeroespacial. A plataforma criou condições para o trabalho comum entre o desenvolvimento de projetos e a sua fabricação, isto porque a plataforma está presente numa CMfg privada que permite a troca de dados e informações entre os parceiros.

2.3.7. Segurança Cibernética

McKinsey & Company (2015), defende que o mundo se encontra cada vez mais conectado e com isso aumenta o risco dos crimes cibernéticos. As preocupações atuais na indústria focam-se com as tecnologias que habilitam a I4.0 por serem suscetíveis a estes crimes, por exemplo, máquinas que estejam conectadas a redes tornam-se suscetíveis de serem atacadas por *hackers*. Não é possível garantir a segurança total contra os ataques cibernéticos, mas os autores referem 4 medidas que podem diminuir a ocorrência destes ataques:

- Proteger, sobretudo, os principais ativos da empresa;
- Adotar sistemas de SC para proteger os processos principais para a empresa;

- Transmitir os riscos dos ataques cibernéticos a todos os níveis da hierarquia, dando formação aos colaboradores para diminuir a falta de zelo ou descuidos na segurança;
- Proteger as tecnologias da empresa com programas de SC automatizados para prevenir as ameaças;

Segundo, Alcácer & Cruz-Machado (2019) estão sob risco de ataque cibernético, a IoT, os ambientes virtuais das fábricas e os dados armazenados na CC ou na CMfg, assim a SC deve ser garantida em cada equipamento, dispositivo ou ponto da cadeia de fabricação como uma tecnologia de proteção, deteção e resposta a possíveis ataques. Os sistemas de controlo e segurança podem não ser totalmente eficazes contra os ataques dos *hackers*, isto porque podem estar desatualizados ou serem demasiado antigos para atender aos requisitos da SC o que pode contribuir para uma rápida disseminação de programas maliciosos nos sistemas da empresa. Os ataques aos sistemas informáticos da empresa podem modificar modelos/projetos, alterar o comportamento dos equipamentos, os processos de produção e os recursos utilizados, assim os ataques informáticos resultam em perdas financeiras, desperdício dos recursos e dos equipamentos, insatisfação dos clientes e gastos acrescidos na resolução do ataque. Para garantir a segurança dos sistemas inteligentes da I4.0, há processos que auxiliam a SC com a *Security Architecture* que deteta e resolve automaticamente as ameaças informáticas e o *Security by Design* que projeta os equipamentos para serem seguros desde a sua fabricação. Os sistemas de controlo e segurança precisam de resposta imediata em caso de ataque que pode ser garantida pelo SDN e o *Network Function Virtualization* (NFV), estes sistemas são capazes de detetar e substituir de forma temporária os sistemas afetados na empresa e criam uma cópia virtual para que continuem a fluir normalmente.

Jansen & Jeschke (2018) explicam, com base na norma internacional IEC/ISA-62443, as 3 camadas de proteção que se precisa de ter em conta:

- Proteção do edifício: Proteção a zonas reservadas da empresa por sistemas aptos para leitura de cartões, por exemplo;
- Proteção da cadeia de produção: Proteção contra acessos não autorizados às cadeias de produção;
- Proteção dos sistemas: Proteção dos dispositivos e dos sistemas informáticos através de autenticação com nome de utilizador e palavra passe.

Assim, os responsáveis das fábricas devem instalar um sistema de segurança, atendendo à capacidade financeira, adequado aos sistemas e processos industriais que precisam de proteger.

Nos últimos anos, a tecnologia *Blockchain* tem sido desenvolvida devido à sua capacidade de criar registos permanentes invioláveis. A criptomoeda *Bitcoin* é um exemplo da aplicação das suas funcionalidades, contudo, só a partir de 2015 é que as empresas começaram a entender o potencial desta tecnologia (Treiblmaier, 2019). Além do setor financeiro, a sua utilização está a expandir-se para outras áreas como a logística, isto porque verifica as interações suspeitas sem necessidade de intermediação, auxiliando assim a implementação de redes *Peer to Peer* onde se destaca pela facilidade de validação e agregação de dados, resiliência e visibilidade ao longo da cadeia de abastecimento (Zhao et al. 2020). Além da integração de ponta a ponta da cadeia de abastecimento permite a descentralização e imutabilidade dos dados que facilita acordos com várias empresas, transações financeiras e a transferência de ativos sem intermediação. Por exemplo, a *Walmart* estabeleceu parceria com outras empresas para localizar e seguir as movimentações de carne suína na China (Treiblmaier, 2019).

2.3.8. Fabricação Aditiva

A FA é uma tecnologia que permite vários tipos de impressão, é controlada por um sistema computacional e baseia-se na construção de objetos com 3 dimensões (3D) através de camadas sucessivas ou gota a gota. Alguns setores industriais já utilizam esta tecnologia, por exemplo, a área aeroespacial e a militar, sobretudo, para a construção de protótipos e de ferramentas. Porém, as indústrias estão a investir nesta tecnologia com o objetivo de conseguir obter os produtos finais através da FA. O principal desafio para as fábricas de alcançar uma produção através da FA é garantir que as peças cumpram os requisitos de qualidade e de confiabilidade, além de ser necessário garantir as propriedades mecânicas para que possam ser funcionais nos fins que lhe são destinados (Kim et al., 2018).

Para Tofail et al., (2018), a FA é diferente da fabricação tradicional, é uma tecnologia que permite a criação de estruturas complexas, que não eram possíveis com a fabricação tradicional. O auxílio dos equipamentos CAD e da tomografia⁵ na FA está a ser estudada para a impressão de tecidos ósseos, por exemplo. Segundo o mesmo autor, alguns benefícios da FA podem ser a facilidade de personalização dos produtos a custos baixos, a produção de

⁵ Exame radiológico que permite visualizar as estruturas por camadas

um produto na sua totalidade (parte interna e externa), maximização da utilização dos recursos (zero desperdício), diminuição no tempo de desenvolvimento dos protótipos dos produtos, produção conforme as necessidades dos clientes, além de conseguir receber várias ordens de produção sem afetar a sua produtividade (escalabilidade).

Lee et al., (2017); Tofail et al., (2018) baseados na ISO/ASTM 529000:2015 apresentam os 7 tipos de classificação dos processos de FA: *Binder Jetting, Directed Energy Deposition, Material Extrusion, Material Jetting, Powder Bed Fusion, Sheet Lamination e Vat Photopolymerization*. No anexo 1 é apresentado um quadro com o modo de funcionamento de cada processo, as vantagens e as desvantagens, os materiais que tem capacidade de imprimir e os tamanhos máximos de impressão.

Lee et al., (2017) apresenta 5 novos materiais que podem ser conseguidos pela impressão, sendo os materiais eletrônicos, materiais inteligentes, materiais cerâmicos, biomateriais e materiais compostos. O desafio é conseguir a impressão desses materiais sem recorrer às matérias primas originárias. Alcácer & Cruz-Machado (2019) acrescentam que a impressão 3D está a ser importante para produtos de escalas muito reduzidas e biomateriais, ao passo que a impressão a 4 dimensões (4D) está a ser utilizada para novos materiais que alteram as propriedades funcionais através da receção de estímulos. A expectativa do autor é que num futuro próximo as áreas de tecnologias mais avançadas substituam as tecnologias usadas nos dias de hoje.

2.3.9. Realidade Aumentada/Realidade Virtual

A diferença entre a RA e a Realidade Virtual (RV) é que a RA completa o ambiente real do utilizador com imagens virtuais dos objetos ou ferramentas enquanto que a RV imerge o utilizador num ambiente totalmente virtual (Segovia et al. 2015). Assim, a RA possibilita a visualização em tempo real de uma imagem aumentada de qualquer objeto físico, por meio de computadores. Esta abordagem permite melhorar e flexibilizar os procedimentos na fabricação por conseguir imagens em 3D, ajudando a identificar falhas que não eram perceptíveis à visão humana (Mourtzis et al., 2014).

Na indústria automóvel, por exemplo, algumas tarefas primárias já são concluídas com o recurso à RA. (Mourtzis et al., 2014). Além da RA contribuir para a indústria, contribui também para outras áreas como a militar, o ensino, os serviços e *marketing* & vendas. A sua implementação é de custo reduzido, só precisa de um dispositivo que capture imagem, uma unidade de processamento e um dispositivo que habilite a exibição do que a imagem captou. A exibição pode ser feita, por exemplo, em vídeo, projetada ou através de hologramas (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). Hologramas são imagens em 3D e permite a apresentação

de objetos de forma detalhada (Javaid et al., 2020). (Segovia et al., 2015) aborda ainda os *Head Mounted Display* (HMD), além dos outros dispositivos móveis habilitados para a exibição da imagem. Os HMD são óculos que foram usados, na sua maioria, para fins de RV, mas também estão a ser usados devidos às novas aplicações da RA.

De acordo com Segovia et al. (2015), a necessidade de monitorização e melhoria contínua em ambiente industrial uniu a RA ao *software Computer Aided Quality* (CAQ). Um exemplo de programa CAQ é o *Quality Data Analysys* (QDA) que monitoriza e avalia cada etapa do sistema de produção em termos de qualidade de produção, otimização de processos, redução de custos e cumprimento dos padrões estabelecidos, transmitindo os indicadores e outros dados através de ligações sem fios para dispositivos portáteis que os torna logo disponíveis no programa e permite que defeitos e erros de produção sejam precocemente detetados e evite posteriores refabricações dos mesmos produtos. Rübmann et al. (2015) acrescentam que a RA permite aos trabalhadores a receção de informações em tempo real da peça que estão a substituir usando uns óculos que estejam equipados para receber a tecnologia de RA.

A figura 11 exhibe a aplicabilidade variedade da RA desde a formação até ao departamento das vendas & marketing.

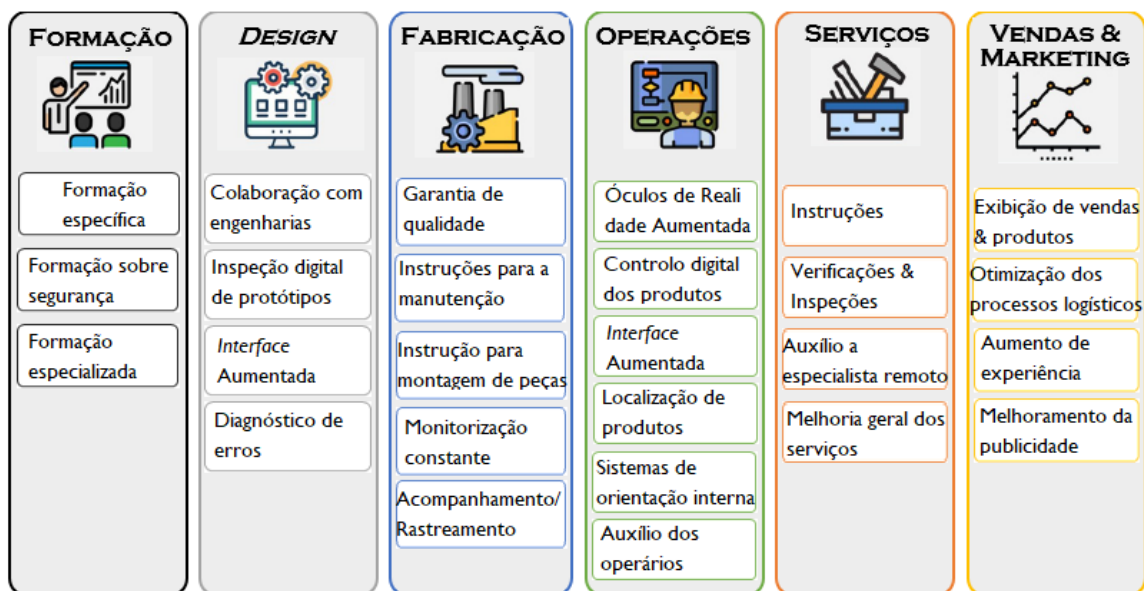


Figura 11: A variabilidade da aplicação da Realidade Aumentada & Realidade Virtual, adaptado de (Alcácer & Cruz-Machado, 2019).

Em termos práticos, a redução de defeitos, por exemplo, na produção de veículos aumenta a segurança dos condutores e diminui os custos das empresas. Por exemplo, a *Firestone* teve

uma produção de 6.5 milhões de pneus defeituosos e um prejuízo estimado em 3 bilhões de dólares, a Toyota em 2014 teve um defeito de produção nos *airbags* de 10 milhões dos seus veículos o que levou a uma perda de 2 bilhões de dólares e nesse mesmo ano a *General Motors* produziu interruptores de ignição com problemas que afetou 30.4 milhões de veículos e representou uma perda de 4.1 bilhões de dólares. Processos de controlo com recurso a RA podiam ter evitado estas produções (Segovia et al., 2015). Em termos do uso da RV, a *Siemens* está a usá-la para qualificar os operadores de determinadas máquinas através de óculos com capacidade de RV que os coloca em situações virtuais de avarias dos equipamentos e eles devem conseguir seguir os procedimentos de manutenção e recuperar dados que se tenham perdido (Rüßmann et al., 2015).

2.3.10. Outras Tecnologias Habilitadoras

Este pilar inclui várias tecnologias que são usadas em áreas específicas como a agroalimentar e a produção de produtos biológicos com ferramentas que permitam a eficiência dos recursos energéticos. Este pilar tem como vantagens a melhoria da qualidade dos produtos e a diminuição dos desperdícios devido à oportunidade de aumentar a capacidade de produção e/ou a produtividade (Büchi et al., 2020).

2.4. Indústria 4.0 na Logística e nos Serviços

As tecnologias da I4.0 não são exclusivas da indústria, sendo utilizadas também na área dos serviços, por exemplo. Cada tecnologia é aplicada conforme a área em que é preciso que seja inserida. (Chiarello et al. 2018).

A seguinte figura mostra a Cadeia de Valor de Porter⁶ que integra tecnologias da I4.0 conforme a atividade que é desempenhada.



Figura 12: A cadeia de Valor de Porter como uma estrutura para a I4.0, adaptado de (Chiarello et al., 2018).

2.4.1. Logística 4.0

A ligação entre a indústria e a logística fez com que as tecnologias da I4.0 pressionasse os serviços logísticos, originando assim o conceito de Logística 4.0 (L4.0). À imagem da I4.0, a L4.0 ainda não é um conceito bem definido, mas a sua base é formada por várias tecnologias da I4.0 (Werner-Lewandowska & Kosacka-Olejnik, 2019). A L4.0 deve-se à integração da IIoT, dos CPS, entre outras tecnologias, que tornaram a logística inteligente, uma vez que criaram um espaço cibernético que permitiu interoperabilidade e respostas em tempo real, permitiram que se acompanhasse o produto em todo o seu trajeto, além de substituir tarefas que antes eram realizadas por humanos. Assim a L4.0 alcançou altos níveis de flexibilidade, melhorou a relação com o cliente e conseguiu reduzir os gastos com o armazenamento. A L4.0 deve atender a requisitos como o planeamento de recursos, sistemas de gestão de armazém, sistemas de gestão de transportes, sistemas inteligentes de transporte e sistemas que garantam proteção da informação para atingir níveis altos de eficiência (Barreto et al., 2017). Werner-Lewandowska & Kosacka-Olejnik (2019), no seu

⁶ Conceito introduzido em 1985 por Michael Porter que representa o conjunto de atividades de toda a cadeia de valor desde a aquisição da matéria prima até à venda do produto final ao cliente.

nível de maturidade da L4.0 identificaram 6 níveis, em que os 3 níveis mais baixos se caracterizam pelo uso de tecnologias RFID, *Enterprise Resource Planning* (ERP) e um baixo uso das TIC. Os 3 níveis mais elevados são sustentados por ferramentas como o *Bluetooth*, uso consistente das TIC, aplicações e sistemas de armazenamento de dados como a CC. O nível mais alto de maturidade da L4.0 representa a total digitalização da logística.

2.4.2. Serviços 4.0

Segundo, Mariani & Borghi (2019), a maioria dos planos da I4.0 tem o foco na indústria. Contudo, as inovações nos serviços trazem vantagens para as empresas que os prestam, mas também para os clientes porque recebem serviços de qualidade superior, além de assegurar a transformação dos serviços porque permite a exploração de novas oportunidades de negócios e criar vantagens competitivas sustentáveis. Os serviços precisam, á imagem da I4.0, sofrer um elevado nível de digitalização para a sua modernização.

Rehse et al., (2016), considera os avanços tecnológicos dos serviços como Serviço 4.0 (S4.0). Estes avanços tecnológicos permitem a recolha de informações sobre preferências dos clientes e uma oferta de serviços personalizados em tempo real. O S4.0 apresenta-se como integrado, proativo, baseado em dados e permite a customização. O autor refere ainda as 9 tecnologias que habilitam o S4.0, algumas definições já são conhecidas e discutidas em pontos anteriores como é o caso do BD, CC, RA, robôs autónomos, conectividade ubíqua e IoT, virtualização e dispositivos inteligentes. As outras 2, computação biónica e computação cognitiva. A computação biónica é uma tecnologia dotada de IA que permite que um agente virtual interaja como se fosse um humano, sendo capaz de estabelecer um diálogo e responder a qualquer tipo de questão colocada, por sua vez, a computação cognitiva fornece a assistência virtual necessária para simular os pensamentos humanos e tem a capacidade de aprender com os erros do passado.

2.5. Desafios à implementação da Indústria 4.0

Para Dassisti et al., (2018), a pressão existente no mercado global obriga a que empresas adotem estratégias, porém algumas não são devidamente estruturadas ou adequadas às empresas. Exemplo disso é o pequeno número de empresas que tentam implementar soluções que incorporem verdadeiramente as tecnologias da I4.0. Esta situação é mais evidente nas Pequenas e Médias Empresas (PME), o que no caso de alguns países pode contribuir negativamente para o seu crescimento económico. As PME tendem a desvalorizar as vantagens da implementação da I4.0 devido aos poucos recursos financeiros que possuem, aos custos de implementação, à taxa de informatização baixa na empresa e aos trabalhadores pouco qualificados para lidar com a I4.0. Além destes fatores, Smit et al.

(2016), fala ainda de outros fatores que dificultam a implementação da I4.0 nas PME como a dificuldade de atrair mão de obra qualificada para utilizar as novas tecnologias, a possibilidade das grandes empresas utilizarem o seu pioneirismo para patentear algumas novas tecnologias, além da internacionalização dos produtos favorecer as empresas de maior dimensão.

Para Smit et al., (2016), é necessário que as PME adotem as tecnologias avançadas de fabricação da I4.0 para continuarem competitivas e que sigam o exemplo de outras que se integraram e formaram cadeias de valor com o objetivo de fornecer produtos e serviços a grandes multinacionais. As empresas de maior dimensão são determinantes no processo da implementação da I4.0, uma vez que o seu pioneirismo transforma o setor onde estão inseridos, alcançando uma maior produtividade, produtos e serviços inovadores que servem para renovar a imagem da empresa. Este pioneirismo leva tanto as empresas concorrentes como as empresas parceiras a seguirem os mesmos passos para evitar que sejam ultrapassadas ou trocadas. No caso das PME, as barreiras para a implementação da I4.0 podem ser mitigadas pela alteração dos paradigmas de produção para sistemas de produção mais descentralizados e pela adoção das tecnologias da impressão em 3D. Com isto, devem aproveitar fatores como a integração nas cadeias das empresas que já utilizam tecnologias da I4.0 para beneficiar do *know-how* já existente, da possibilidade de comercializar produtos/serviços num mercado mais diversificado.

Sony & Naik (2019), apresentam 10 fatores críticos para a implementação da I4.0 nas empresas ser bem sucedida:

- Coordenar as estratégias da empresa com as iniciativas da I4.0;
- A administração das empresas precisa apoiar as iniciativas I4.0;
- Os trabalhadores precisam de adaptar-se às mudanças, sobretudo, à introdução dos CPS que passam a realizar as tarefas antes desempenhadas pelos trabalhadores;
- Tornar os produtos ou serviços prestados pela empresa inteligentes;
- Integrar tecnologias da I4.0 que permitam a digitalização da cadeia de fornecimento de bens aos clientes;
- Digitalizar o processo produtivo da organização;
- Mudança na forma de gestão pela introdução dos sistemas integrados;
- Executar e gerir todas as fases dos projetos da I4.0 de forma correta;
- Desenvolver as estruturas de SC;
- Criar um ecossistema sustentável na empresa que respeite as necessidades ambientais, económicas e sociais da sociedade.

2.5.1. Guia de Maturidade da *National Academy of Science and Engineering*

De seguida, apresenta-se o guia do nível de maturidade da I4.0 da “*National Academy of Science and Engineering*” (Acatech).

Segundo Schuh et al. (2017), cada empresa terá um desenvolvimento diferente com a implementação da I4.0. Isto dever-se-á ao conhecimento e às tecnologias que cada empresa utilizar e ao modo como estabelecer as relações com as outras. Assim, deve-se fazer uma avaliação do seu estado atual e dos objetivos estabelecidos a médio e longo prazo. O caminho para avaliar o nível de maturidade das empresas é feito por 6 etapas: informatização, conectividade, visibilidade, transparência, capacidade preditiva e adaptabilidade. Cada etapa serve de base para a etapa seguinte e a ordem não pode ser alterada. As empresas que apenas estão enquadradas nas primeiras duas etapas (informatização e conectividade) são consideradas digitais e as empresas que se enquadram em alguma das restantes 4 (visibilidade, transparência, capacidade preditiva e adaptabilidade) já se consideram empresas I4.0.

- **Informatização:** Esta etapa é a base da digitalização. Nesta etapa as TIC são usadas de forma isolada, apenas para trabalhos repetitivos que necessitem de eficiência. A maioria das máquinas não possui ligação a outra máquina (ausência de interoperabilidade), a operação das máquinas é feita pelos funcionários e os dados são introduzidos manualmente.
- **Conectividade:** Nesta etapa, as TIC deixam de ser usadas de forma isolada e passam a conectar os principais processos da empresa. A tecnologia existente já permite conectividade e interoperabilidade, mas ainda não se assiste à total integração das TIC e dos sistemas tecnológicos. O Protocolo de *Internet*⁷, atualmente na versão IPv6, usa-se, cada vez mais, no chão de fábrica e permite que através da instalação da nova tecnologia de sensores, as máquinas mais antigas possam continuar a produzir. Com a conectividade, um projeto de engenharia pode ser enviado diretamente para ser produzido e executado de acordo com os processos CAD e CAM e informar quando a fabricação estiver concluída através do MES.
- **Visibilidade:** Sensores acompanham os processos de produção do início ao fim em tempo real, recolhendo dados, não apenas do processo produtivo, mas de toda a empresa e disponibiliza-os a todos os intervenientes, integrando os sistemas como

⁷ Protocolo de comunicação usado entre todas as máquinas para troca de dados

o MES e o ERP, possibilitando uma tomada de decisão com base nos dados recolhidos.

- **Transparência:** A observação dos dados fornecidos para a resolução dos problemas é feita com recurso ao BD que trata e analisa o enorme volume e heterogêneo de dados, trabalhando de forma paralela com os sistemas ERP e MES. Disponibiliza informações relevantes para a empresa e permite monitorizar as máquinas e equipamentos que fazem parte na cadeia de criação de valor.
- **Capacidade Preditiva:** A empresa é capaz de simular possíveis cenários e identificar quais os que terão maior hipótese de ocorrer, contudo, as decisões ainda são tomadas por humanos. Esta capacidade permite implementar decisões que evitem falhas/interrupções de produção, ruturas de *stock*, atrasos nas entregas e outros problemas logísticos, que terão reflexo nos resultados financeiros da empresa.
- **Adaptabilidade:** Atingindo esta etapa, a adaptação contínua permite que a empresa utilize as TIC para agilizar o processo de tomada de decisão praticamente sem intervenção humana. Contudo, deve dar-se atenção ao custo/benefício e o impacto que a automação terá na relação com os clientes e os fornecedores.

A figura 13 ilustra as 6 etapas de desenvolvimento da I4.0.

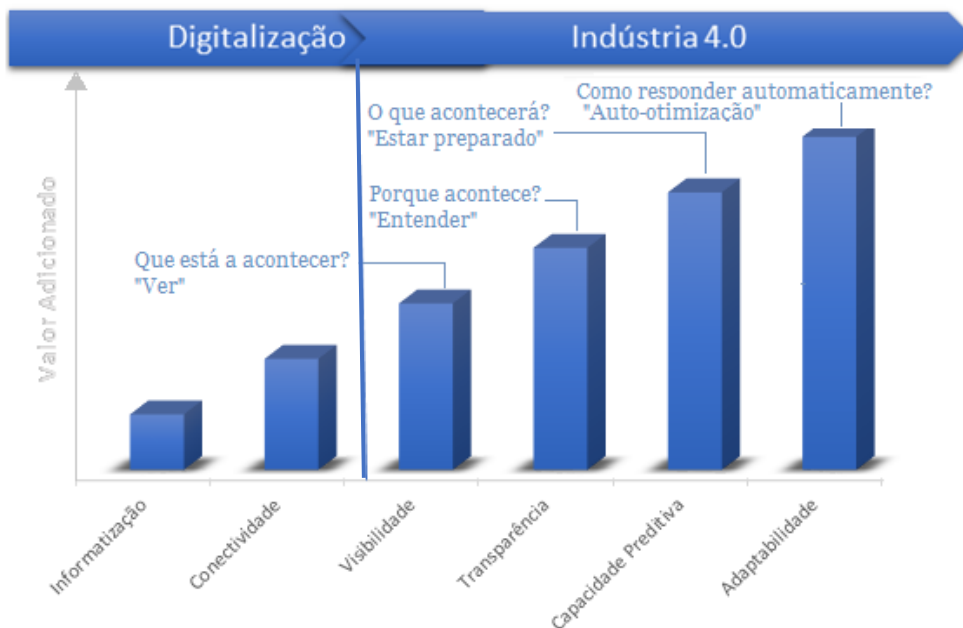


Figura 13: Etapas do desenvolvimento da Indústria 4.0, adaptado de (Schuh et al., 2017).

Para Gürdür et al., (2019), as 6 etapas de desenvolvimento servem para avaliar o nível de maturidade das 4 áreas estruturais. Assim, segundo Schuh et al. (2017), as 4 áreas

estruturais resumem-se a recursos, sistemas de informação, estrutura organizacional e cultura.

- Recursos: Engloba a capacidade digital e a comunicação estruturada que permite à empresa receber dados em tempo real e processá-los de forma descentralizada, melhorando a aproximação entre o mundo físico e digital e a comunicação entre os funcionários.
- Sistemas de informação: Processamento de informação de forma automática que usa as TIC para entregar a informação devidamente contextualizada, integrando a empresa de forma horizontal e vertical, devendo ter sistemas que mantenham os dados protegidos.
- Estrutura organizacional: Criar grupos de trabalho flexíveis e com objetivos motivadores, além de estabelecer uma colaboração dinâmica entre todos os parceiros para oferecer produtos que sozinhos não conseguiam.
- Cultura: Os funcionários devem reconhecer os erros, aprender com eles e estarem receptivos a uma aprendizagem contínua para acompanhar a inovação. Os gestores/administração deve adotar um estilo de liderança democrático com uma comunicação aberta e disponibilizar a informação necessária para os funcionários estarem envolvidos na totalidade do processo.

A figura 14 mostra este método de avaliação, onde cada princípio de cada estrutura organizacional é avaliado conforme as 6 etapas de desenvolvimento.

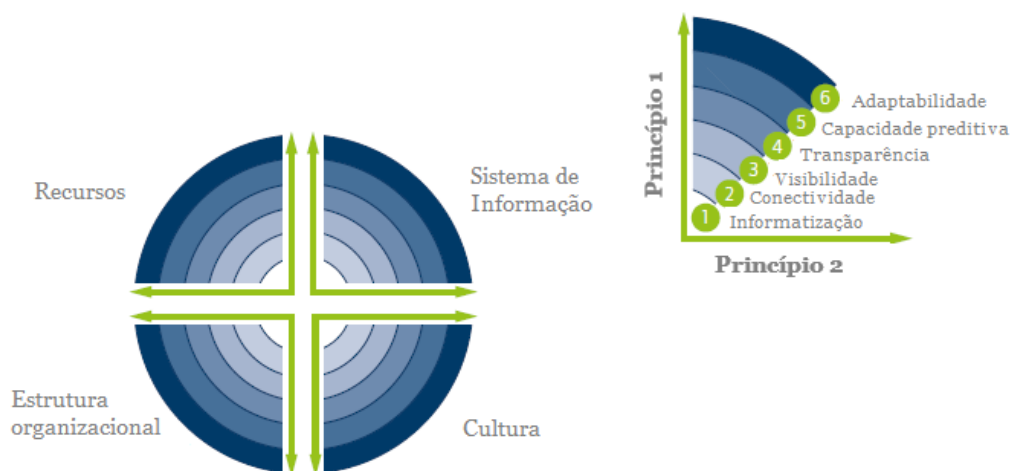


Figura 14: Método de avaliação das áreas estruturais, adaptado de Schuh et al., (2017).

Além das 6 etapas de desenvolvimento e das 4 quatro áreas estruturais abordadas, apresenta-se, ainda, 5 áreas funcionais (desenvolvimento do produto, produção, logística, serviços, *marketing* & vendas) que devem ser analisadas de forma independente, conforme as etapas e as áreas estruturais já apresentadas (Schuh et al. 2017).

Gürdür et al. (2019), explicam que o índice de maturidade da I4.0 da Acatech, é uma ferramenta útil no que concerne à avaliação da maturidade da I4.0 nas empresas e quais as medidas que devem seguir para conseguirem aumentar a maturidade, porém não está preparado para apresentar uma análise simples e clara dos dados.

2.6. Países que implementaram estratégias I4.0

Segundo Liao et al., (2017), vários governos implementaram programas de suporte, desenvolvimento e incentivo à competitividade das suas indústrias para fazer face à concorrência dos outros países, onde se destaca:

- A CE lançou, em 2014, o plano FoF, uma Parceria Público-Privada (PPP), sob instrução do programa “*Horizon 2020*” que criou uma linha de perto de 80 milhões de euros para os anos de 2014 a 2020;
- Os EUA lançaram em 2011 o programa AMP;
- A Alemanha, em 2012, com o plano de ações “*High-Tech Strategy 2020*”, em que um dos futuros projetos é a I4.0.
- Na França, iniciou-se em 2013, uma revisão estratégica, nomeada “*La Nouvelle France Industrielle*”.
- No Reino Unido, em 2013, o governo apresentou um plano até 2050, o FoM.
- A Coreia do Sul, em 2014, anunciou “*Innovation in Manufacturing 3.0*”.
- A China, em 2015, lançou a estratégia “*Made in China 2025*” (MIC2025) com o plano “*Internet Plus*” para acelerar a informatização na indústria do país.
- No Japão, o governo, em 2015, adotou “*5th Science and Technology Basic Plan*”.
- Em Singapura, o governo disponibilizou 19 biliões de dólares para o “*Research, Innovation and Enterprise*”.

Além destes, Ślusarczyk (2018), acrescenta ainda vários países europeus interessados em integrar ativamente esta revolução e estão a preparar as suas indústrias para a mudança como é o caso da Suécia com o programa “*Produktion 2030*”, a Itália com “*Fabbrica Intelligente*”, a Bélgica e a Holanda com “*Made Different*”, a Espanha nomeou o plano como “*Industria Conectada 4.0*” e o plano “*Produktion der Zukunft*” na Áustria.

Para se entender melhor o impacto e os objetivos destas políticas, vai-se abordar de forma mais detalhada o plano da CE, sendo um organismo independente e que representa os países da União Europeia (UE), além de se aprofundar os planos dos governos da Alemanha, dos EUA, da China e de Portugal.

2.6.1. Comissão Europeia: Plano “Factories of the Future”

A PPP FoF, atua sob orientação do programa “*Horizon 2020*”. A produção industrial representa cerca de 16% do Produto Interno Bruto (PIB) da Europa, emprega cerca de 30 milhões de pessoas e o dobro de pessoas em atividades de apoio, além de representar 80% das exportações. Contudo, a concorrência global estava a colocar a liderança em alguns setores em risco e a diminuir o emprego na indústria europeia. Assim, o objetivo do plano é aumentar a competitividade e a sustentabilidade das indústrias da UE, principalmente as PME, face à concorrência global, para que desenvolvam bases tecnológicas, o uso das TIC, tecnologias inovadoras para máquinas adaptáveis e o uso de materiais avançados para responderem às exigências do mercado, por exemplo: maior personalização e melhor qualidade dos produtos, redução dos desperdícios e uma utilização mais eficiente dos recursos. Estabeleceram os seguintes objetivos específicos:

- Sistemas de fabricação avançados;
- Equipamentos de fabrico inteligentes e adaptáveis;
- Fábricas virtuais e uso eficiente de recursos;
- Empresas dinâmicas e interligadas com a cadeia de valor;
- Foco no cliente, usando processos inovadores nos produtos; (European Commission, 2013)

Em 2016, a “*European Factories of the Future Research Association*” (EFFRA), com o documento “*Factories 4.0 and Beyond*” criou as recomendações para os anos de 2018 a 2020, igualmente sob o “*Horizon 2020*” e reforçando o plano das PPP FoF. Este programa de trabalhos identifica as seguintes áreas prioritárias e as respetivas metas:

- Redes de valor dinâmicas (criação do lote único);
- Fabricação de excelência (alcançar uma produção sem defeitos);
- Foco nos humanos para desenvolver sinergias com os avanços tecnológicos;
- Redes de valor sustentáveis (Conduzir a uma EC);
- Plataformas digitais de fabricação interoperável (Suporte a um serviço de produção sustentável); (EFFRA , 2016)

Segundo EFFRA (2017), em 2017, o “*Progress Monitoring Reports for 2017*” aborda o progresso alcançado desde o lançamento da PPP FoF, de realçar:

- Investimentos privados permitiram uma alavancagem de 4.65%, referindo-se apenas a empresas que participaram no projeto FoF;
- Criação de 272 novos tipos de empregos altamente qualificados;
- 31 projetos criaram 191 programa de estudos na PPP FoF;
- 31.65% das empresas participantes eram PME;
- Várias inovações significativas: 110 projetos apresentaram 983 estudos que foram revistos pela CE. 56 projetos solicitaram 109 patentes. 75 projetos relataram 107 atividades de standardização;
- Contribuição para a redução do uso de energia, emissões e desperdício de material: 40 projetos relataram uma redução de 16% de emissões de dióxido de carbono (CO₂), 50 projetos referiram que reduziram o consumo de energia em 19% e 33 projetos afirmam que reduziram os desperdícios de material em 11%;

Segundo EFFRA (2019), em 2019, lançaram o documento “*EFFRA Vision for a Manufacturing Partnership in Horizon Europe*” com os objetivos para os anos de 2021 a 2027. Este documento baseia-se no plano FoF 2020 e nos seus princípios, mas vai ainda mais além. Neste documento são referidos 4 componentes principais, estabelecidos como objetivos:

- Competitividade: Forte cooperação e amplas redes de valor para as empresas conseguirem uma produção de excelência e uma grande eficiência na utilização das matérias primas;
- Planeta: Sustentabilidade ambiental, diminuindo o consumo de recursos e aumentar o uso de energias renováveis para diminuir as emissões de CO₂;
- Pessoas: As inovações futuras precisam de ser mais adaptáveis aos trabalhadores para se capacitarem e, posteriormente, criarem e desenvolverem as profissões, combatendo a falta de mão de obra qualificada que existe;
- Produtos do futuro: São produtos inovadores, sustentáveis e acessíveis. Apenas serão possíveis com a integração na produção de alta tecnologia para responder às exigências da sociedade;

2.6.2. Alemanha: “*High-Tech Strategy*” e “*Platform Industrie 4.0*”

A “*High Tech Strategy 2020*” surge da necessidade de abrir a indústria alemã a novas perspectivas. Formulou metas para uma ampla gama de diferentes campos de inovação, definiu prioridades e introduziu novos instrumentos. O seu foco incidiu sobre cinco áreas prioritárias: clima/energia, saúde/nutrição, mobilidade, segurança e comunicação. O

objetivo da “*High Tech Strategy 2020*” foi tornar a Alemanha líder enquanto resolve estes desafios globais, não apenas para melhorar a qualidade de vida das pessoas, mas para potencializar a criação de valor no setor privado e criar empregos de alto nível no país (Federal Ministry of Education and Research, 2010). A I4.0 foi uma iniciativa deste plano do governo alemão em novembro de 2011. As recomendações de implementação foram formuladas pelo “*Industrie 4.0 Working Group*” em 2012. O “*High Tech Strategy*” forneceu a base para o lançamento da “*Industrie 4.0 Platform*” em abril de 2013, tendo contado no seu desenvolvimento com organizações como a *BITKOM*, *VDMA* e *ZVEI* (Kagermann et al. 2013). A “*Industrie 4.0 Platform*” estabeleceu-se como uma marca global líder na digitalização da indústria. Gerou inúmeras parcerias com organizações nacionais e internacionais e coopera com iniciativas em vários países da Europa, China e EUA. Esta plataforma também iniciou e lidera o tema da transformação digital na indústria nas cimeiras do Grupo dos sete (G7) e Grupo dos vinte (G20). (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2019).

Em setembro de 2018, o Governo Federal Alemão lançou o documento “*Research and innovation that benefit the people*” enquadrado no programa “*The High-Tech Strategy 2025*”. Este programa estabelece que o Ministério de Investigação e Desenvolvimento, em conjunto com o Governo Federal e o setor privado, invista até 3.5% de PIB em Investigação & Desenvolvimento (I&D) até ao ano de 2025. Sendo uma das 10 economias do mundo mais poderosas em termos de I&D, empregando cerca de 650 mil pessoas neste âmbito, o objetivo é que se continue a criar condições para a I&D num ambiente caracterizado pela criatividade, agilidade e abertura. Para isto, definiram prioridades e reuniram esforços para áreas que apresentem um dinamismo particular, grande potencial em termos de crescimento de emprego e soluções inovadoras, mantendo o ensino e desenvolvendo competências em tecnologias para que se estabeleça uma base de viabilidade e sustentabilidade a longo prazo na Alemanha. “*The High-Tech Strategy 2025*” foca-se em 3 grandes campos de ação: Enfrentar grandes desafios, reforçar as competências futuras da Alemanha e estabelecer uma cultura de inovação e desenvolvimento:

- Enfrentar grandes desafios: Incluem os temas de saúde e cuidados, sustentabilidade, proteção do clima e energia, mobilidade, áreas urbanas e rurais, segurança e proteção, e economia e trabalho 4.0. A inovação neste campo de ação preocupa-se, na sua essência, com a melhoria da qualidade de vida no dia-a-dia das pessoas
- O Reforçar as competências futuras: estabelece o fortalecimento da economia e a competitividade internacional, desenvolvendo as bases tecnológicas, as competências base e a participação da sociedade;

- Estabelecer uma cultura de inovação e desenvolvimento: aborda o uso de redes no conhecimento e inovação, colocar o conhecimento em prática e fortalecer o espírito de empreendedor (Federal Minister of Education and Research, 2018).

“*The High-Tech Strategy 2025 Progress Report*”, lançado em setembro de 2019, aborda o progresso já efetuado e mostra o estado atual de desenvolvimento. Neste documento, referem-se aos 3 campos de ação inicialmente escolhidos, mas direcionam o foco para questões mais específicas dentro dos temas que prometeram abordar e desenvolver. Assim, voltam a apresentar 3 campos de ação: saúde e transformação, tecnologia e mobilidade, e sustentabilidade e ambiente, e os objetivos estabelecidos:

- Saúde e transformação: combate ao cancro, melhorar a qualidade das pessoas, criar uma rede digital de pesquisa de cuidados de saúde (medicina inteligente), encontrar novas formas de conhecimento e modelar tecnologia para as pessoas.
- Tecnologia e mobilidade: criação de células de bateria na Alemanha, colocar a IA em prática e desenvolver uma rede de mobilidade sustentável. Por fim, a sustentabilidade e ambiente desdobram-se em preservar a biodiversidade biológica, reduzir o plástico depositado no ambiente, neutralizar o efeito estufa produzido pela indústria e criar uma economia circular sustentável, uma vez que apenas 9% dos recursos utilizados são mantidos no ciclo, os restantes 91% são produzidos, utilizados e descartados. Esta estratégia é adaptável e definida para reagir rapidamente e mudar as tendências de inovação conforme as necessidades. Um dos principais objetivos deste programa é melhorar a cooperação entre todos os ministérios da Alemanha, fomentando o diálogo entre todos os intervenientes. (Federal Minister of Education and Research, 2019).

2.6.3. EUA: “*Advanced Manufacturing Partnership*”

O governo dos EUA lançou em 2011 o AMP, em 2013, foi lançado o “*Advanced Manufacturing Partnership Steering Committee 2.0*” e o “*The National Network for Manufacturing Innovation*” em 2014. Também em 2014, lançaram o programa “*Manufacturing USA*” para estimular os recursos existentes para inovar o processo de fabricação e acelerar a comercialização, onde se promove uma relação de cooperação e diálogo entre as universidades e os centros de pesquisa, o governo e a indústria (Chen, 2017). O *cluster* da AMP é constituído por um grupo de 7 indústrias americanas. Este *cluster* integra os vários setores da economia e fornece produtos e serviços importantes como a robótica e servidores de computadores. Os dados indicam que este *cluster*, em 2015,

representou 43% da produção total da indústria e 8% da produção total do país, empregando cerca de 48% da mão de obra do país (Richter et al. 2019).

Segundo, Rudnitsky et al. (2019) “*Annual Report 2018*” divulgado pela “*Manufacturing USA*” relata que os grupos industriais que a constituem, trabalham em diversas tecnologias avançadas, por exemplo, no desenvolvimento da robótica, fabricação digital e inteligente, medicina, tecidos e materiais leves, FA, entre outras tecnologias. Em 2012, uma PPP bem sucedida na fabricação aditiva da equipamentos para o Departamento de Defesa dos EUA estabeleceu a base para futuras PPP com o objetivo:

- Alcançar melhores práticas e estabelecer padrões de fabricação definidos;
- Construir, por regiões, ecossistemas e economias circulares de determinadas tecnologias;
- Identificar e solucionar as falhas de fabricação dos EUA;
- Formar profissionais altamente competentes;
- Transferir as novas bases tecnológicas criadas para toda a indústria dos EUA;

À data do relatório, o programa “*Manufacturing USA*” é incorporado por 9 agências federais e 14 centros de I&D e explanam os seguintes resultados:

- Colaboração em 475 grandes projetos de I&D para amplos setores da indústria;
- Aumentou em cerca de 50% o número de organizações envolvidas, das quais 63% pertencem à indústria e 70% são PME;
- Utilizou 183 milhões de dólares americanos do fundo estatal, mas atraiu um investimento de 304 milhões de dólares americanos do setor privado e do estado, representando a importância da investigação no desenvolvimento da fabricação avançada para o sucesso da economia; (Rudnitsky et al. 2019).

2.6.4. China: “*Made In China 2025*”

Em 2015, o governo da China publicou um plano de 10 anos para a indústria do país, ficou estabelecido como MIC2025. Este plano é a versão chinesa da I4.0, tendo como objetivo melhorar as capacidades de fabricação das indústrias do país. Contudo, várias medidas foram lançadas neste plano sem uma estrutura bem definida ou sem um sistema que permitisse desenvolver as vantagens competitivas. Além disto, verifica-se uma disparidade entre o ponto de partida da I4.0 e do MIC2025, isto porque a I4.0 tem como base a Indústria 3.0 e a indústria chinesa tem o seu nível de desenvolvimento entre a Indústria 1.0 e a Indústria 2.0. Estas diferenças são refletidas nos programas, o MIC2025 possui metas para

melhorar as capacidades competitivas da indústria chinesa como a inovação, redução de custos e integração horizontal e vertical das indústrias. A I4.0 foi apresentada como tendo nos seus alicerces uma estratégia de integrar na indústria as TIC com a alta tecnologia para criar novos produtos e serviços líderes a nível mundial (Wang et al. 2020).

Segundo, Zenglein & Holzmann (2019), A estratégia está sendo constantemente ajustada aos desafios emergentes e as indústrias tradicionais de alta tecnologia procuram superar as lacunas existentes para os concorrentes estrangeiros. Nos setores cruciais para a quarta revolução industrial, como a fabricação inteligente, digitalização e tecnologias emergentes, a China procura ganhar vantagens competitivas em relação aos outros países. Exemplo disso, são empresas chinesas que avançaram na nova geração das TIC, implementando redes 5G e ferrovias de alta velocidade. Surgiram mais de 530 parques de fabricação inteligente onde se estão a focar no BD (21%), novos materiais (17%) e CC (13%), além de estarem a desenvolver projetos com foco na sustentabilidade da produção e da sociedade. Apostou, ainda, na IA, novo tipo de energias e veículos inteligentes. Em 2017, 53% de vendas de baterias para veículos elétricos foi de fabricantes chineses. Contudo, a dependência de componentes essenciais do estrangeiro é uma grande fraqueza da indústria chinesa. O governo procura eliminar essa dependência e investiu em 2018, cerca de 300 bilhões de euros (correspondente a 2,2% do PIB). Além do investimento, em 2018, o Ministério da Indústria e da Informação Tecnológica definiu 5 pontos essenciais:

- Divisão do país em zonas para estabelecer especializações tecnológicas por região;
- IIoT, indústrias emergentes, estabelecimento de indústrias de classe mundial;
- Inovações em tecnologias básicas;
- Estabelecimento de centros de inovação de fabricação;
- Criação de mecanismos de apoio fiscal;

A evolução do programa, deve-se também ao apoio e crescimento do setor privado no desenvolvimento de novos modelos de negócio, particularmente na digitalização da economia. Com isto, a China utiliza a fabricação inteligente como base essencial para tornar a sua indústria de alta tecnologia, tendo estas 10 indústrias como base no MIC2025:

- Nova geração das TIC;
- Máquinas e robôs topo de gama computadorizados;
- Aviação e equipamento espacial;
- Equipamentos marítimos e navios de alta tecnologia;
- Ferrovias de alta tecnologia;

- Poupança de energia e veículos elétricos;
- Equipamentos energético;
- Equipamento agrícola;
- Novos materiais;
- Biomedicina e equipamento médico de alta tecnologia;

Os objetivos estabelecidos será alcançar um maior poder de fabricação em 2025, capacidade de fabricação global em 2035 e em 2049 liderar a capacidade de fabricação, sendo uma superpotência tecnológica.

2.6.5. Portugal: Programa Indústria 4.0

A indústria portuguesa procura acompanhar os progressos e as inovações da quarta revolução industrial. Num estudo realizado em 2016, as expectativas é que num período de cinco anos as empresas consultadas tivessem um aumento significativo na digitalização dos seus processos. Segundo o mesmo estudo, em 2016, o nível de digitalização das empresas consultadas era de cerca de 34% em Portugal e 33% no resto do mundo, estimando que no período de 5 anos essa percentagem assuma os 86% em Portugal e os 72% no resto do mundo (PwC Portugal, 2016).

A figura 15 mostra o nível de implementação da digitalização esperado na indústria portuguesa e na mundial em 2016 e nos 5 anos seguintes.

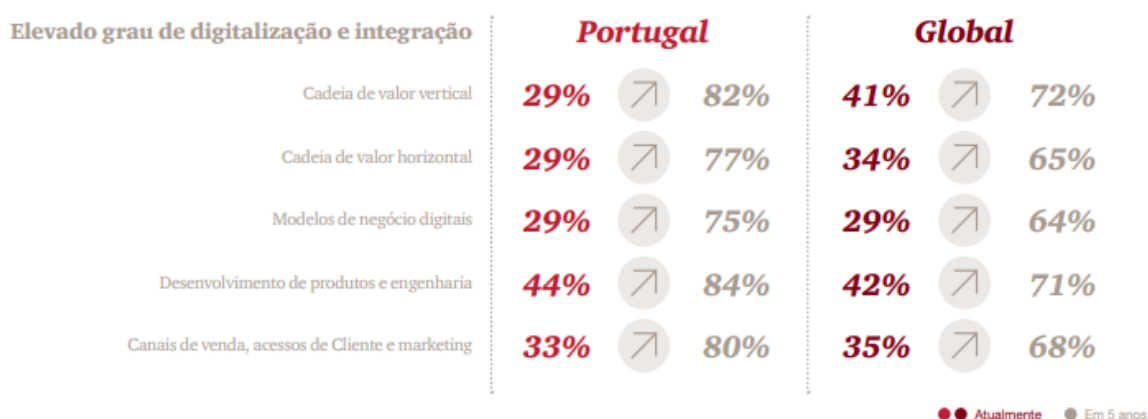


Figura 15: Grau de digitalização na indústria em Portugal e no mundo, em 2016 e em 5 anos, por áreas, retirado de (PwC Portugal, 2016).

Segundo, COTEC Portugal (2019), o Programa Indústria 4.0 (PI4.0) vai, atualmente, na Fase II. Foi lançado pelo governo português em 2017 (Fase I) com o objetivo de convergir com as estratégias da UE, tendo uma estratégia mobilizadora. Em 2019, lançaram a Fase II que estima 600 milhões de euros em investimentos públicos e privados e tem como objetivo

ser transformador. As empresas portuguesas dividem-se em três grupos: as *leading* que lideram os processos de implementação da I4.0 (acompanharam a Fase I do programa) e as *mid-tier* e *laggard* que precisam de ser apoiadas para conseguirem o desenvolvimento para a I4.0 (vão acompanhar a Fase II do programa). A transição para a I4.0 terá de atuar em vários setores e os *clusters* industriais e os centros tecnológicos serão fundamentais para apoiar a implementação do conceito da I4.0. A implementação deste conceito assenta em 3 linhas estratégicas:

- Generalizar I4.0: Disseminar o conhecimento e a partilha de experiências da implementação da I4.0. Estima-se a necessidade de captar cerca de 2000 empresas por ano, sobretudo, PME que ainda não atingiram a maturação suficiente, identificar os benefícios da implementação do PI4.0 e desenvolver um mapa que organize as metas de desenvolvimento para a maioria das empresas captadas.
- Capacitar I4.0: Formar e desenvolver capacidades nos recursos humanos de competências digitais, sobretudo, nas PME. O programa tem como objetivo envolver 200 mil pessoas, estimulando os seus conhecimentos digitais para facilitar a implementação das metodologias da I4.0, além de promover o aumento da taxa de emprego dos recém graduados na acima do 1%.
- Assimilar – Integração de tecnologias I4.0: Nesta fase pretende-se a experimentação e a integração da I4.0 nas PME, fortalecendo a colaboração entre empresas (integração vertical e horizontal), centros de investigação e universidades para a sustentabilidade dos ecossistemas, desenvolvendo as cadeias de valor através de plataformas que permitam uma estágio de maturação maior na relação entre a oferta e a procura.

Neste programa, destaca-se a existência de 33 programas de apoio à implementação e práticas de inovação que respeitam a I4.0, geridos por 23 entidades. A monitorização dos progressos e dos resultados obtidos são transmitidos às estruturas do governo pela COTEC Portugal que é a entidade gestora do PI4.0. Uma das ferramentas que permite monitorizar e acompanhar a evolução da competitividade das PME portuguesas é o *I4.0 Scoreboard*. Assim, as metas anuais a atingir até 2030 passam por um desenvolvimento de tecnologias da I4.0 acima dos 5%, de acordo com a análise da ferramenta *I4.0 Scoreboard*.

Capítulo 3

COVID-19 e o impacto mundial

3.1. A pandemia do COVID-19

Em 31 dezembro de 2019, a Organização Mundial de Saúde (OMS) foi informada sobre casos de pneumonia na Cidade de Wuhan, na China. A 7 de janeiro, as autoridades chinesas confirmaram a existência de um novo coronavírus. No dia 30 de janeiro foi declarado um surto de Emergência de Saúde Pública de Interesse Internacional e no dia 11 de março a OMS classificou o COVID-19 como uma pandemia (World Health Organization, 2020a). Os coronavírus são uma família de vírus que se caracterizam por causar infecções respiratórias em humanos e animais. COVID-19 era uma doença infecciosa desconhecida até à data. O COVID-19 é facilmente transmitido e propaga-se através de gotículas que são expelidas por pessoas infetadas quando espirram ou falam e podem infetar diretamente outras pessoas ou contaminar superfícies que depois sejam tocadas por outras pessoas (World Health Organization, 2020b).

A 11 de dezembro, estavam confirmados casos positivos de COVID-19 em 211 países (World Health Organization, 2020c). Os dados recolhidos no mesmo dia mostram, a nível mundial, que o panorama se encontrava de acordo com a seguinte tabela:

Tabela 2: Número de infeções e mortes a nível mundial devido à COVID-19, dados retirados de (World Health Organization, 2020d)

Regiões	Número de pessoas infetados com COVID-19	Número de mortos	Óbitos devido à infeção com COVID-19 (em %)
Mundo	68 845 368	1 570 304	2.28
África	1 585 594	35 210	2.22
América	29 467 378	766 717	2.60
Europa	21 128 809	468 115	2.22
Mediterrâneo Oriental	4 438 471	110 527	2.49
Pacífico Ocidental	945 334	18 143	1.92
Sudeste Asiático	11 279 038	171 579	1.52

3.2. Antigas crises mundiais

A crise provocada pelo COVID-19 é diferente das últimas grandes crises mundiais. Na crise 2008 as vendas de produtos novos diminuíram, mas as empresas conseguiram vender peças de reposição e assim manter a atividade. Porém, a crise do COVID-19 interrompeu a atividade de várias fábricas em várias zonas geográficas e as cadeias de abastecimento foram interrompidas o que impossibilitou o normal funcionamento. Deste modo, a administração das empresas precisa de lidar com a situação e tornar-se resiliente para enfrentar o “Novo Normal” (Rapaccini et al. 2020). Para um melhor entendimento sobre o impacto que as crises mundiais têm no dia a dia de governos, empresas e pessoas, vai-se abordar, de seguida, de forma resumida, duas grandes crises presentes na história, a Crise de 1929 e a Crise de 2008.

3.2.1. Crise de 1929

A crise de 1929 teve repercussões a nível mundial, originou um colapso económico e atingiu severamente um grande número de países, incluindo as grandes potências da época . Os países industrializados registaram, em média, quebras de 20% na produção e o desemprego atingiu 25% da mão de obra disponível (Frieden, 2008).

Os EUA eram os grandes credores mundiais, devido ao livre comércio e ao sistema padrão-ouro que facilitava as conversões monetárias entre as diferentes moedas de cada país. Contudo, os investimentos no exterior começaram a resultar num retorno financeiro menor do que o mercado de ações americano e do que os empréstimos domésticos e, sobretudo, a partir de 1928 os credores americanos diminuíram, significativamente, os empréstimos ao estrangeiro, originando crises económicas em vários países. A facilidade no acesso ao crédito fazia com que grande parte das famílias americanas o procurasse para conseguir um maior poder de compra, o que resultava num aumento do preço das ações, este valor duplicou no espaço de um ano (1928) e originou um comportamento especulativo dos investidores americanos que originou o *crash* da bolsa americana no Outono de 1929 e iniciou um processo de deflação generalizado em produtos e serviços. O PIB de alguns países, incluindo os EUA, diminuiu perto de 30% entre o período de 1928/1929 a 1932/1933 (Frieden, 2008).

3.2.2. Crise de 2008/2009

A Grande Crise Financeira despontou em 2008 e é tida como o pior crise económica desde a Grande Depressão, sendo desencadeada com a falência do banco de investimentos Lehman Brothers em setembro desse mesmo ano (Makin, 2019). Teve a sua origem na bolha

que se criou em torno do setor imobiliário, e quando esta reventou, originou grandes problemas de liquidez (Hausman & Johnston, 2014). Com o epicentro nos EUA, teve um maior impacto nos países desenvolvidos do que nos países em desenvolvimento. Vários bancos faliram e, no geral, o preço das ações de várias empresas caiu a pique. Como resultado, o investimento privado diminuiu, o PIB sofreu uma queda significativa e o desemprego aumentou consideravelmente (Makin, 2019). Para (Brem et al. 2020), estas crises dos sistemas capitalistas, como a de 2008, são vistas como oportunidades para o desenvolvimento do sistema capitalista, onde a recessão possibilita a reestruturação e a inovação desempenha um papel fundamental que permite a prosperidade e crescimento económico para a sociedade.

Makin (2019) considera que os desequilíbrios globais existentes acabaram por contribuir para a crise de 2008, sublinhando a balança comercial deficitária que os EUA tinham com a China. Além dos desequilíbrios globais, Hausman & Johnston (2014) foca 5 pontos que considera como desencadeadores da crise:

- Fim do efeito bolha no setor imobiliário, depois de registar subidas de 124% no valor dos imóveis, sofreu em 2008 uma quebra abrupta de 20%. As empresas responsáveis pela regulação do mercado das hipotecas dos EUA, garantiam credores através das elevadas taxas de retorno financeiro, facilitando o crédito de alto risco a pessoas sem garantias bancárias, conhecidas como *subprime*. O fim do efeito bolha culminou com o declínio do preço das habitações e conjugado com a política de empréstimos praticada levou a uma elevada taxa de hipotecas, uma vez que os consumidores não tinham capacidade para pagar as dívidas ou vender as habitações.
- Contratação excessiva de crédito pelos consumidores sem capacidade financeira que resultava em hipotecas (a dívida média aumentou de 77% em 1990 para 127% em 2007).
- Aumento exagerado do preço de algumas mercadorias, por exemplo, o preço do petróleo aumentou quase 300% entre 2007 e 2008;
- Avaliação errada dos bancos, modelos financeiros incorretos e má gestão;
- Espiral negativa causada pela diminuição do poder de compra devido ao aumento do desemprego e dificuldade de acesso ao crédito que diminuiu o consumo e fez cair os lucros das empresas.

Numa perspetiva empresarial, os créditos bancários são fundamentais para o apoio aos projetos de I&D, garantindo assim a inovação contínua no seio das empresas. Contudo, os bancos facilitam o acesso a crédito a empresas conceituadas no mercado e dificultam o seu

acesso a empresas pequenas/recentes ou com projetos de elevado risco, mesmo que a taxa de retorno financeiro seja maior, isto origina a criação de monopólios no mercado. Esta tendência verificou-se na crise de 2008, uma vez que as jovens empresas tinham maior probabilidade em abandonar ou interromper os projetos de inovação do que as grandes empresas. Assim, a crise, forçou as empresas a diminuir o investimento na I&D, porém, o estudo mostra que esta tendência não se registou com tanta intensidade em países do Norte e Centro da Europa como a Suécia ou a Alemanha em que as empresas fazem da I&D uma vantagem competitiva (Brem et al. 2020).

Apesar de se registar um período de crescimento económico depois de uma crise financeira, a crise de 2008 regista uma recuperação mais lenta devido ao impacto que teve na economia mundial (Bordo & Haubrich, 2017). El-Erian, (2014) aborda o conceito de “Novo Normal” para justificar a lenta recuperação da crise de 2008. Este conceito foi desenvolvido no seio da *Pacific Investment Management Company, LLC* (PIMCO) em 2009 e sustentou-se na ideia de que esta não era uma crise cíclica e as economias não iam recuperar rapidamente, normalmente chamada de recuperação em “V”, pelo contrário, iam progredir lentamente e o desemprego ia continuar elevado, devido a vários fatores como à dívida externa dos países, má avaliação de riscos e a outros erros estruturais cometidos que afetam o modo de vida da geração atual e futura.

3.2.3. Relação com as crises passadas

Em contraste com as últimas pandemias, a resposta ao COVID-19 pode ser feita com recurso às tecnologias da I4.0 que garantem adaptabilidade e uma resposta rápida das linhas de produção às necessidades emergentes do mercado (Malik et al. 2020). Apesar de ser uma crise diferente das que se têm registado ao longo da história, há sempre a necessidade de criar, mudar e adaptar as estratégias para ser possível resolver e ultrapassar os problemas que são apresentados e evitar impactos de longa duração nas sociedades e empresas que são afetadas (Sarkis et al. 2020). Esta situação foi evidente na crise de 2008, sobretudo no setor automóvel, uma vez que os consumidores diminuíram a aquisição de produtos novos. Como resposta, as empresas adaptaram-se e implementaram um fornecimento de serviços (servitização) que criou valor na ótica do consumidor, por exemplo, um programa de assistência completa ou programas que facilitavam o financiamento (Rapaccini et al. 2020).

Os trabalhadores que são capazes de realizar teletrabalho apresentam uma taxa de desemprego mais baixa. Na crise de 2008, a taxa de desemprego foi perto de 5% para empregos não teletrabalháveis e cerca de 3% para empregos teletrabalháveis. A diferença de valores é atribuída, segundo o autor, devido à maior qualificação dos funcionários que

desempenham trabalhos que possibilitam o teletrabalho. Quanto à necessidade de distanciamento social que o COVID-19 obriga, os empregos não teletrabalháveis são mais afetados (cerca de 12.50%) do que para os teletrabalháveis (entre 5.50 e 6%) (Shibata, 2020).

O COVID-19 não trouxe apenas problemas financeiros para as empresas, mas também problemas nas cadeias de abastecimento, a produção foi interrompida em várias indústrias e o setor dos serviços foi igualmente afetado (Papadopoulos et al. 2020). Em termos comparativos, entre o período da crise financeira de 2008 (2007 a 2009) e crise provocada pelo COVID-19 (2019 a abril de 2020), salienta-se que devido ao COVID-19 o crescimento da taxa de desemprego nos setores dos serviços (aumentou cerca de 2%), produção (cerca de 0.50%), vendas (cerca de 1.00%) e dos transportes de pessoas/materiais (cerca de 0.80%). Os restantes setores não tiveram alterações significativas, em sentido contrário, o setor da agricultura e das pescas sofreu uma ligeira diminuição na taxa de desemprego (Shibata, 2020).

3.3. Impacto do COVID-19 a nível mundial

O COVID-19 tornou-se numa crise histórica. Alterou o dia-a-dia das pessoas, sobrecarregou sistemas de saúde, encerrou escolas e alguns estabelecimentos públicos e condicionou o funcionamento de grande parte das empresas. A pandemia foi dividida em 3 fases distintas: achatamento, luta e futuro. A figura 16 mostra a evolução da atividade económica, da capacidade do sistema de saúde e dos pacientes que precisam de cuidados intensivos ao longo das 3 fases já mencionadas, sendo que a transição da fase de achatamento para a fase de luta ocorre quando o governo de um determinado país começa a levantar algumas restrições para alguns setores retornarem gradualmente ao trabalho, esta transição é conhecida como o “Reinício”. A criação de um tratamento ou vacina para o COVID-19 marcará a transição da fase da luta para a fase do futuro (Gjaja et al. 2020).

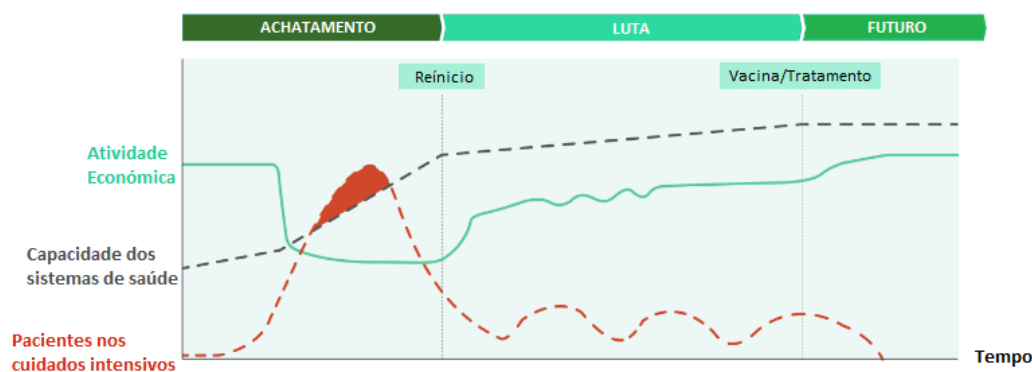


Figura 16: As 3 fases do COVID-19, adaptado de (Gjaja et al. 2020).

Como consequências, o COVID-19 abalou as economias e as empresas a nível mundial, desde os países menos desenvolvidos até aos mais desenvolvidos, prevendo-se uma repercussão pior do que a crise financeira de 2008 (International Monetary Fund, 2020b). O COVID-19 impactou de forma diferente os vários países, por isso os governos adotaram medidas e estratégias em consonância com o impacto. Os países que são responsáveis por mais de 65% da produção mundial e exportações (EUA, China, Japão, Itália, França, entre outros) foram dos mais duramente atingidos. A falta de preparação demonstrada pelas indústrias para responder às restrições impostas pelo COVID-19 e consequente necessidade do mercado foi grande, uma vez que foi necessário readaptar a produção para equipamentos médicos em algumas indústrias e as outras foram afetadas pelas falhas na cadeia de abastecimento e pelo aumento do preço em algumas matérias-primas (Ibn-Mohammed et al. 2020).

As projeções do Fundo Monetário Internacional (FMI), implicam um decréscimo do PIB a nível mundial que deve rondar os 3% em 2020 e um crescimento de 5.8% em 2021. Contudo, só nos finais de 2021 ou inícios de 2022 é que alguns países vão voltar à estabilidade que se encontravam antes do surgimento da pandemia (International Monetary Fund, 2020b). A próxima tabela inclui as variações do crescimento do PIB de países emergentes e em desenvolvimento, e de países desenvolvidos em 2019 e as projeções para 2020 e 2021.

Tabela 3: Projeção da evolução do PIB nas economias mundiais, adaptado de (*International Monetary Fund, 2020b*)

Ano	Projeções		
	2019	2020	2021
Crescimento Global	2.9	-3.0	5.8
Economias Desenvolvidas	1.7	-6.1	4.5
Estados Unidos da América	2.3	-5.9	4.7
União Europeia	1.2	-7.5	4.7
Alemanha	0.6	-7.0	5.2
França	1.3	-7.2	4.5
Itália	0.3	-9.1	4.8
Espanha	2.0	-8.0	4.3
Japão	0.7	-5.2	3.0
Reino Unido	1.4	-6.5	4.0

Canadá	1.6	-6.2	4.2
Outros Países Desenvolvidos	1.7	-4.6	4.5
<u>Países Emergentes e em Desenvolvimento</u>	3.7	-1.0	6.6
Emergentes e em Desenvolvimento na Ásia	5.5	1.0	8.5
China	6.1	1.2	9.2
Emergentes e em Desenvolvimento na Europa	2.1	-5.5	3.5
América Latina e Caraíbas	0.1	-5.2	3.4
Médio Oriente e Ásia Central	1.2	-2.8	4.0
África Subsariana	3.1	-1.6	4.1
Outros Países Menos Desenvolvidos	5.1	0.4	5.6
Todos os valores são apresentados em percentagens (%)			

3.3.1 Impacto do COVID-19 na União Europeia

Até ao dia 11 de dezembro estavam contabilizadas 12 424 475 pessoas infetadas e o falecimento de 290 850 pessoas, o que resulta numa taxa da fatalidade de 2.34% na UE (Deloitte, 2020). A seguinte tabela ilustra o impacto do COVID-19 na economia e produção industrial da UE nos meses de 2020.

Tabela 4 - Impacto do Covid-19 na economia e produção industrial da União Europeia, dados retirados de (Eurostat, 2020).

	Fevereiro	Março	Abril	Julho	Setembro
Produção Industrial (valores referentes ao mês anterior)	0.00	-11.70	-18.00	5.30	-0.44
Inflação (Valores referentes ao mês anterior)	1.20	0.70	0.20	0.40	-0.30
Taxa de desemprego	7.20	7.40	7.20	8.70	8.50
Todos os valores são apresentados em percentagens (%)					

3.3.2. Impacto do COVID-19 nos EUA

Até ao dia 20 de setembro estavam confirmados 15 146 865 casos de pessoas infectadas e o falecimento de 285 099 pessoas, o que resulta numa taxa da fatalidade de 1.88% (Deloitte, 2020). Em termos económicos, a taxa de desemprego nos EUA subiu dos 3,7% em 2019 para os 8.90% em 2020 (International Monetary Fund, 2020a). A produção industrial dos EUA, segundo os dados disponíveis, teve entre março e abril uma queda de 17.30%, em que a produção caiu para os 91%. Nos 4 meses seguintes, assinalou-se um crescimento contínuo que aumentou a produção industrial para os 101.40% em agosto. Contudo, a produção industrial estava em agosto de 2020 7.7% abaixo dos valores que se registaram no mesmo mês do ano anterior. (Federal Reserve, 2020).

Algumas das principais preocupações que o COVID-19 trouxe para as indústrias dos EUA, segundo o inquérito realizado pela *PricewaterhouseCoopers* (PwC), é que 71% admite um impacto financeiro negativo na empresa, 41% na redução da produtividade, 40% na redução do consumo e 23% no surgimento de gargalos nas cadeias de distribuição. Assim, a pandemia colocou barreiras nas indústrias dos EUA, principalmente nas que não conseguiram ou não estavam preparadas para trabalhar remotamente devido à necessidade de reduzir a densidade de trabalhadores no mesmo espaço de trabalho. Esta situação levou ao encerramento temporário das fábricas ou à redução parcial dos horários de trabalho ou dos trabalhadores. Este momento crítico serviu para as empresas mostrarem a sua proatividade ao tentarem mitigar o impacto do COVID-19, através do uso de recursos tecnológicos que permitam a automatização dos processos, por exemplo, o uso da IIoT para controlar os processos e os movimentos dos robôs no chão da fábrica (PwC United States, 2020).

3.3.3. Impacto da COVID-19 na indústria da Alemanha

Até ao dia 11 de dezembro estavam confirmados 1 242 203 casos e o falecimento de 20 372 pessoas na Alemanha devido ao COVID-19 (World Health Organization, 2020d). A taxa de desemprego situava-se em janeiro de 2020 nos 3.4%. Durante os meses seguintes, registou-se um crescimento contínuo, atingindo o valor de 4.5% em agosto que se manteve constante até outubro. A produção industrial assinalou em janeiro um crescimento de 2.1% face ao mês de dezembro do ano anterior, em abril registou o valor mais baixo, até ao momento, do ano de 2020 com uma queda de 28.20% em comparação com o mês de janeiro. Até setembro, a produção industrial tem estado em crescimento em relação aos meses anteriores, de ressaltar o crescimento de 42.80% de abril a julho (Eurostat, 2020).

Um estudo da *Mckinsey Digital* sobre como a COVID-19 afetou as empresas alemãs, especialmente as que são consideradas *Mittelstand*⁸, uma vez que representam perto de 58% dos empregos do país e produzem mais de 34% das receitas alemãs. O estudo mostra que em finais de abril, 27% das empresas não se sentiram afetadas, 17% teve de suspender a atividade, 41% das empresas estava a trabalhar de forma parcial e 15% encerrou a atividade e ainda não tinha regressado. Em termos de faturação durante o segundo trimestre, segundo o estudo, 50% das empresas *Mittelstand* esperam um declínio, sendo que 10% considera que terá uma quebra superior a 50%. Pelo contrário, 11% das empresas esperam um crescimento da faturação. O COVID-19 afetou, sobretudo, as empresas que dependem de cadeias de abastecimento para garantir a produção como a indústria automóvel e a eletrónica, por exemplo. Por outro lado, os setores relacionados com a saúde e as TI, devido ao aumento da procura por causa do vírus, esperam um aumento de receitas a curto prazo pelo facto de terem usado as vantagens da tecnologia e terem conseguido trabalhar, sobretudo, a partir de casa (Meffert et al. 2020).

3.3.4. Impacto do COVID-19 na China

Na China, até ao dia 25 de setembro de 2020, foram reportados 94 749 casos de pessoas infetadas com COVID-19 e 4 755 mortes derivadas das infeções (World Health Organization, 2020d).

O desemprego nas 31 maiores cidades chinesas situava-se nos 5.2% no início do ano de 2020, depois teve um aumento contínuo até maio onde alcançou os 5.90%, nos meses seguintes diminuiu até aos 5.3% em outubro. O Índice de Gestão de Compras Industrial (IGC Industrial) revela que a indústria chinesa sofreu um decréscimo significativo de janeiro para fevereiro dos 50 para os 35.70, sabendo que valores acima de 50 significam crescimento e abaixo dos 50 revelam uma contração. De fevereiro para março aumentou para os 52 e tem-se mantido com valores superiores a 50, sendo que em novembro atingiu os 52.1. (Deloitte, 2020).

O uso das novas tecnologias permitiu que a China mitigasse o impacto do COVID-19. A incorporação do BD, IA, IIoT e da rede 5G permitiram coordenar as cadeias de abastecimento e as indústrias e obter respostas em tempo real. A capacidade das fábricas chinesas em se adaptarem às exigências do mercado (modularização), possibilitou que entre janeiro e fevereiro, mais de 3 000 empresas, se reorganizassem e direcionassem a produção

⁸ Designação alemã para as Pequenas e Médias Empresas

para produtos e equipamentos médicos que estavam em falta e eram necessários para combater a pandemia. Além da utilidade na indústria, as novas tecnologias, sobretudo o uso da rede 5G, permitiram uma digitalização das consultas médicas e do ensino. (Sengyee, 2020).

3.3.5. Impacto da COVID-19 em Portugal

De acordo com os dados disponíveis à data do estudo (8 de dezembro), estão confirmados 325 071 casos de pessoas infetadas e o falecimento de 5 041 pessoas em Portugal (Deloitte, 2020). A taxa de desemprego no primeiro trimestre de 2020 foi de 6.70%, no segundo de 5.60% e no terceiro 7.80%. Em relação a 2019, apresenta valores mais baixos nos 2 primeiros trimestres, 6.80% e 6.30%, respetivamente. Contudo, no terceiro trimestre de 2019 o valor foi de 6.10%, sendo 1.70% menor do que o que se registou no mesmo período de 2020. (Instituto Nacional de Estatística, 2020a). A produção da indústria nacional sofreu uma queda no índice de preços. Em termos homólogos, o mês de outubro de 2020 teve uma queda de 4.6% face a agosto de 2019. Apesar de estar em terreno negativo desde o início de 2020, mostra um ligeiro sinal de recuperação, uma vez que apresenta uma recuperação contínua desde maio (Instituto Nacional de Estatística, 2020b).

Segundo os dados do Instituto Nacional de Estatística (INE), disponibilizados num inquérito de 29 de julho, revelam, de uma forma geral, o impacto que a pandemia teve nos últimos meses nas empresas portuguesas. O inquérito revela um aumento nas empresas em funcionamento, em abril era cerca de 83% em funcionamento (incluindo as que estavam a trabalhar parcialmente) e esse valor aumentou para 99% em julho. As empresas que reportaram uma redução no volume de negócios também diminuíram dos 80% em abril para os 58% em julho. Assistiu-se a uma redução do pessoal a trabalhar, em abril 59% das empresas confirmaram que tinham reduzido o pessoal a trabalhar, sendo que em julho esse valor diminuiu para os 24%. O recurso ao teletrabalho e à alternância dos turnos foram tidos como alternativas para manter a atividade das empresas, sendo que em abril 58% das empresas encontrava-se com alguns funcionários nesta situação e em julho diminuiu para 37%. De salientar que os setores da indústria e energia, construção e atividades imobiliárias, comércio e, alojamento e restauração eram os que tinham menos funcionários em trabalho, 33%, 25%, 29% e 27%, respetivamente. Por outro lado, os setores dos transportes e armazenamento, informação e comunicação e, outros serviços tinham uma maior percentagem de trabalhadores em teletrabalho, 54%, 75% e 60%, respetivamente (Instituto Nacional de Estatística, 2020c; Instituto Nacional de Estatística, 2020d). Na tabela 5 disponibilizam-se os dados supramencionados, acompanhando a evolução de abril a julho.

Tabela 5 - Panorama dos trabalhadores e empresas portuguesas entre abril e julho, dados retirados de (Instituto Nacional de Estatística, 2020c; Instituto Nacional de Estatística, 2020d).

	Abril	Maió	Junho	Julho
Empresas em funcionamento	83			99
Empresas que reportam redução no volume de negócios	80	76	68	58
Redução do pessoal efetivamente a trabalhar	59	47	38	24
Teletrabalho/Turnos alternados	58	54	47	37
	Todos os valores são apresentados em percentagens (%)			

A redução do consumo das famílias em 2.8% depois do aumento de 2.3% em 2019, o aumento do consumo público de 0.8% em 2019 para 2.1% em 2020, a redução do investimento dos empresários e a diminuição das exportações em 12.1% depois de terem subido 3.7% em 2019, são alguns dos fatores que o Banco de Portugal colocou em cima da mesa para criar projeções para os anos de 2020 a 2022 num cenário base. Por outra perspetiva, projetaram o cenário adverso que acarretará um maior impacto do COVID-19 na economia portuguesa, o Banco de Portugal projeta que o consumo das famílias diminua 4.8% e as exportações nacionais de bens e serviços tenham uma queda de 19.1% (Banco de Portugal, 2020). Os dois cenários estabelecidos são ilustrados na tabela 6 com as projeções do crescimento do PIB, da inflação e do desemprego de 2020 a 2022.

Tabela 6 - Projeções económicas para Portugal para os anos de 2020 a 2022, adaptado de (Banco de Portugal, 2020).

Anos	2020	2021	2022
Cenário Base			
Varição do PIB	-3.7	0.7	3.1
Inflação	0.2	0.7	1.1
Taxa de Desemprego	10.1	9.5	8.0
Cenário Adverso			
Varição do PIB	-5.7	1.4	3.4
Inflação	-0.1	0.5	0.7
Taxa de Desemprego	11.7	10.7	8.3
	Todos os valores são apresentados em percentagens (%)		

Capítulo 4

A reestruturação, inovação e resiliência das empresas ao COVID-19

O impacto que a pandemia do COVID-19 teve na economia mundial origina a necessidade de uma onda de inovação tecnológica. O modelo económico necessário para o pós-COVID-19 inclui as tecnologias emergentes, energias renováveis, EC e “cidades inteligentes” (Allam & Jones, 2021).

4.1. Economia Circular

O COVID-19 expôs as fragilidades da economia linear e a sua vulnerabilidade perante cenários adversos, afetando as empresas e interrompendo as cadeias de distribuição. Assim, a pandemia é vista como uma oportunidade para a implementação da EC e dos seus princípios fundamentais com o objetivo de criar riqueza para as empresas (Ibn-Mohammed et al. 2020). Foca-se na redução de desperdícios e numa produção mais sustentável, além de dar uma maior permissão para as empresas seguirem a produção com as restrições impostas pela pandemia (Sarkis et al., 2020).

O mundo pós COVID-19 precisa de um modelo que garanta a competitividade das empresas e que torne a economia mais resiliente, amiga do ambiente e que não revele fragilidades nas cadeias de abastecimento. Esse modelo vai de encontro aos princípios da EC (Nandi et al. 2021). Para Ibn-Mohammed et al. (2020), a EC tem potencial para assegurar uma produção mais amiga do ambiente e que crie postos de trabalho, dando resposta não apenas ao COVID-19, mas também ao problema ambiental mundial que os especialistas alertam. Assim, a EC pode diminuir as desigualdades sociais, uma vez que o investimento na reutilização dos recursos e a reindustrialização de algumas regiões pode criar empregos sem ser nos grandes centros, além de reduzir a dependência de determinado país como centro produtor do mundo.

4.2. O aumento do uso das novas tecnologias

As tecnologias emergentes e os avanços tecnológicos estão a ser utilizados como parte da equação para travar e dar resposta ao COVID-19 e a possíveis vírus futuros, uma vez que os sistemas de saúde mais avançados do mundo falharam na resposta e as empresas não se conseguiram adaptar e responder com os equipamentos que eram solicitados por pessoas e

governos (Vaishya et al. 2020). Por exemplo, os mercados virtuais estão a ser utilizados para o comércio de produtos e serviços (Belhadi et al. 2020).

Coombs (2020) aponta 3 razões que levaram a um crescimento do uso da IA durante o COVID-19:

- A mudança na preferência dos consumidores: Para reduzir risco de transmissão do vírus, os clientes demonstram uma preferência pela IA e por sistemas totalmente automatizados em detrimento do contacto com outro humano. Esta preferência resulta em pagamentos *contactless* ou por via eletrónica e comportamentos *self-service* quando adquirem algum produto numa loja.
- Maior familiaridade com a IA: O recurso a ferramentas digitais como as videoconferências permitiu que várias pessoas continuassem a trabalhar ou a contactar com outras pessoas. A maior familiarização das pessoas com as ferramentas digitais e o receio de contactar ou estar no mesmo espaço com outras pessoas leva a uma adoção deste tipo de ferramentas digitais a longo prazo;
- Aumento do uso e confiança das empresas em tecnologias e IA: A IA está a ser usada para substituir tarefas que antes eram realizadas por humanos por robôs, uma vez que cumpre o distanciamento social e não há risco de contágio.

Devido ao vírus, vários países adotaram medidas para evitar a sua propagação, restringiram as atividades económicas e controlaram as entradas e saídas de pessoas das suas fronteiras que se refletiu numa quebra na produção e na prestação de serviços das empresas (Papadopoulos et al. 2020). As quebras nas empresas devem-se, essencialmente, à redução da força de trabalho e às falhas nas cadeias de abastecimento, uma vez que a receção de matérias primas e o envio de mercadorias foi condicionada pelos gargalos que surgiram com as interrupções (Kumar et al. 2020). Com isto, o COVID-19 afetou, sobretudo, as PME, devido à menor capacidade financeira e a uma produtividade mais baixa o que leva os seus responsáveis a procurar estratégias inovadoras que flexibilizem a empresa de modo que consiga uma produção mais sustentável (Papadopoulos et al. 2020).

4.3. As estratégias de inovação das empresas

Lee & Trimi (2021) apresentam estratégias de inovação que permitem a melhoria contínua das cadeias de valor das empresas. A Inovação Convergente pode incorporar mais do que uma das estratégias abaixo mencionadas, além de integrar a criatividade e tecnologias não relacionadas com o objetivo de criar oportunidades para a empresa:

- Inovação Incremental: Concentra-se na melhoria contínua dos sistemas de produção atuais e usa-se, sobretudo, nas empresas que adotam as práticas LM;
- Inovação Drástica: Explora o desconhecido para criar produtos/serviços novos de forma a gerar valor para o cliente;
- Inovação Disruptiva: As empresas oferecem novos produtos baseados em aplicações de novas tecnologias a baixo custo, em mercados já saturados, para concorrer com os líderes desse mercado, como é exemplo a Xiaomi e a Netflix;
- Inovação Não Disruptiva: Oferece novas possibilidades sem perturbar o negócio das outras empresas, por exemplo, os ginásios;

A seguinte imagem, ilustra a integração das estratégias de inovação para criar valor para a empresa.

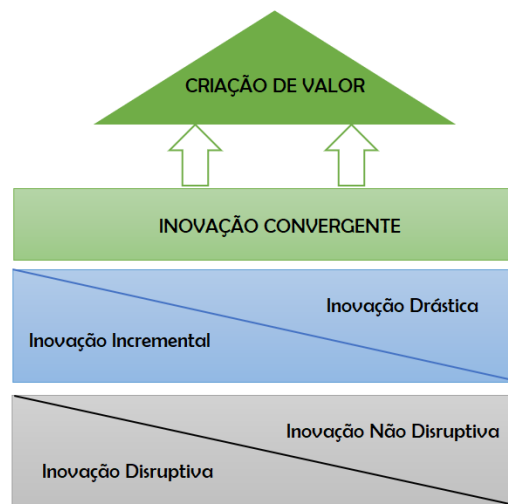


Figura 17: A convergência das estratégias de inovação, adaptado de (Lee & Trimi, 2021).

4.4. Resiliência das empresas

A interrupção global causada pelo COVID-19 apresentou problemas de resiliência nas empresas. Esta situação é mais evidente nas empresas que optam por uma produção em grande escala para diminuir os custos de produção, sobretudo, através da aplicação das práticas LM e que se caracterizam pelas extensas cadeias de distribuição, neste sentido, 35% das empresas que seguem este modelo, admitiram problemas (Shokrani et al. 2020). Apesar disto, a era pandémica que se tem vivido é vista como uma oportunidade para a transição para modelos de negócios mais sustentáveis, onde é necessário que a produção e as respetivas cadeias de abastecimento se tornem mais resilientes, de modo que não existam

quebras na receção de matérias-primas, na produção e na entrega do produto final e assim evitar a diminuição do desempenho ou da produtividade das empresas (Kumar et al. 2020). Neste sentido, as empresas desenvolvem a capacidade de reconfigurar os processos de produção para responder de forma rápida, eficaz e económica ao interesse inesperado do mercado por determinado produto (Malik et al., 2020).

As grandes indústrias mundiais apresentam maior resiliência o que lhes permite uma maior facilidade em alterar a estratégia de produção conforme o que é solicitado pelo mercado, neste caso para combater a pandemia (Kumar et al. 2020). As empresas da indústria automóvel alteraram as linhas de produção para a produção de ventiladores, artigos em 3D, entre outros, a indústria têxtil modificou a produção para começar a produzir máscaras e outro vestuário de proteção, a indústria de produção de bebidas alcoólicas passou a produzir desinfetantes e outras soluções à base de álcool e empresas de tecnologia estão a desenvolver programas que facilitem o combate à pandemia (Madurai Elavarasan & Pugazhendhi, 2020).

A tabela 7 apresenta como algumas das maiores empresas mundiais se adaptaram para dar resposta ao COVID-19.

Tabela 7 - A adaptação e resiliência das maiores empresas do mundo em tempos de COVID-19, retirado e traduzido de (Madurai Elavarasan & Pugazhendhi, 2020).

Empresa	Ramo de atividade	Produção habitual	Produção para combater o COVID-19
Ford	Indústria automóvel	Veículos	Ventiladores
Tesla - Gigafactory	Indústria automóvel	Células	Ventiladores
Airbus	Indústria aeroespacial	Aeronaves	Ventiladores
Mercedes-AMG High Performance	Indústria automóvel	Motores para carros de fórmula 1	Máquinas de pressão positiva nas vias aéreas
Dyson	Indústria tecnológica	Aspiradores de pó e secadores de mãos	Ventiladores
Ineos	Indústria química	Petróleo, gás, plásticos, produtos químicos, entre outros	Desinfetantes e outros produtos à base de álcool
Gucci	Indústria têxtil	Vestuário de luxo	Máscaras
Zara	Indústria têxtil	Vestuário	Máscaras cirúrgicas
Bacardi	Indústria bebidas alcoólicas	Rum	Desinfetante para as mãos
Eight Oaks Farm	Destilaria	Licores	Desinfetantes
LVMH e L`Oreal	Indústria cosmética	Cremes e perfumes	Desinfetantes médicos e géis desinfetantes

A digitalização através das soluções da I4.0 está a ser usada pelos líderes da indústria (Agrawal et al. 2020). Com isto, apenas as grandes empresas mostram capacidade para dar resposta às flutuações de procura do mercado, devido à flexibilidade que asseguram nos processos de produção. A automação permite libertar os humanos de tarefas repetitivas e permite até aumentar a produção e a sua qualidade (Malik et al., 2020). Segundo, Agrawal et al. (2020), para fazer face ao COVID-19, 25% dos líderes da indústria estão a usar a automação para mitigar a diminuição de funcionários e cerca de 39% criaram um centro de controlo para acompanhar a cadeia de abastecimento de ponta a ponta.

4.4.1 Modelo de gestão de crises para as empresas e os elementos da resiliência

Rapaccini et al. (2020) apresenta um modelo para as empresas gerirem a crise provocada pelo COVID-19, com base na indústria italiana. Este modelo é suportado por 4 fases:

- Calamidade (Fase 1) - Empresas que estejam localizadas em partes problemáticas do mundo ou que estejam habituadas a lidar com situações epidemiológicas graves como a Ebola ou a SARS, mostram uma maior preparação para enfrentar a situação pandémica atual, uma vez que já conhecem os procedimentos e os equipamentos necessários de proteção individual e coletiva. Esta fase diz respeito à consciencialização das empresas sobre as consequências do COVID-19. É fundamental um tempo de resposta rápido e o envolvimento da hierarquia de topo das organizações. Assim, são criadas equipas para gerir a emergência onde recolhem informações, coordenam decisões e transmitem o conhecimento adquirido para se conhecer os riscos da pandemia no seio da empresa e elaborar os vários cenários alternativos.
- Rápido & Sujo (Fase 2) - Nesta fase, as empresas implementam soluções básicas e rápidas, mas que permitam mitigar o impacto do COVID-19 e continuar com a atividade, por exemplo, o teletrabalho, sugerir a troca de um produto em vez de recomendar a sua reparação, desmantelar máquinas inoperacionais para aproveitar peças para as máquinas em atividade (caso não se consiga a receção das peças necessárias) e enviar os produtos diretamente para a morada do cliente. Devido à impossibilidade de desenvolver soluções em curtos espaços de tempo, as empresas apostaram no uso dos recursos e tecnologias que já tinham sido desenvolvidos em períodos pré-COVID-19, onde se procuraram consolidar e assim criar serviços alternativos.
- Reiniciar (Fase 3) - Esta fase marca a reabertura das fábricas e outras empresas depois da interrupção causada pelo COVID-19. Contudo, há a necessidade de

reorganizar o "*layout*" da empresa, criar turnos, garantir o distanciamento social entre os trabalhadores e cumprir outras restrições impostas. O maior desafio da organização passa por conseguir manter o desempenho, os custos e cumprir com os prazos de entrega. Para isso, é necessário responder às encomendas que se atrasaram devido ao COVID-19, compreender os produtos/serviços que vão ser procurados pelo mercado, as adaptações necessárias na cadeia de produção e os recursos e equipamentos que devem ser desenvolvidos para responder ao ambiente de negócios.

- “Novo Normal” (Fase 4) - A análise de economistas e líderes das empresas conclui que o mundo pós-COVID-19 não será o mesmo. Assim, surge a necessidade de reformular os modelos de negócios, isto é, o foco não ser apenas no produto, mas também no serviço (servitização), criar novas práticas e fortalecer a ligação com os *stakeholders*.

Segundo Rapaccini et al. (2020), o surgimento inesperado do COVID-19 obrigou as empresas a reagir sem estarem preparadas. Por isso, o autor considera a servitização como uma parte da resposta e construiu um modelo de resiliência para as empresas com base em 4 conceitos que fará a transição para o “Novo Normal” que o COVID-19 trouxe para a sua realidade:

- Agilidade: é a capacidade da empresa se adaptar rapidamente às mudanças exógenas e conseguir dar resposta às novas necessidades do mercado.
- Preparação empreendedora: capacidade dos responsáveis das empresas em refletir para reconstruírem os seus negócios com base nas oportunidades e nas ideias inovadoras que surgem com as crises.
- Elasticidade: As experiências internas das organizações sobre as crises anteriores são importantes para enfrentar as próximas, contribuem para a permutabilidade e flexibilidade dos trabalhadores dentro da empresa e para a construção de um ecossistema melhor e mais completo.
- Redundância: Capacidade de reconfigurar a rede de valor da empresa através dos vários recursos modulares da empresa (equipamentos e materiais, por exemplo) e alterar a lógica de negócios centrada no produto para uma lógica que vá de encontro à servitização.

A figura 18 relaciona cada elemento de resiliência a uma fase do modelo de gestão de crises, tendo ainda em consideração o espaço temporal que cada deve ocupar.

Elementos de Resiliência	Espaço Temporal	Modelo Gestão de Crise
Agilidade	Dias	Calamidade (Fase 1)
Preparação Empreendedora	Semanas	Rápido & Sujo (Fase 2)
Elasticidade	Meses	Reiniciar (Fase 3)
Redundância	Anos	Novo Normal (Fase 4)

Figura 18: A relação entre as fases do modelo de gestão de crises e os elementos de resiliência, adaptado de (Rapaccini et al., 2020).

Contudo, o desenvolvimento de resiliência e agilidade nas empresas está associado à adoção de tecnologias o que é um contrassenso para as que procuram evitar custos e investimentos durante o período pandémico (Agrawal et al., 2020).

4.5. A reestruturação dos modelos de negócio

Os armazéns e as fábricas tiveram, em muitos casos, de encerrar temporariamente o que levou à paralisação dos processos de produção (Rapaccini et al., 2020). Noutros casos, as empresas tiveram de reajustar os horários de trabalho, diminuir o contacto entre os trabalhadores, colocar a mão de obra indireta em teletrabalho, isto é, os funcionários de escritório como os da contabilidade ou dos recursos humanos, além da necessidade de garantir um ambiente de trabalho higienizado e desinfetado com regularidade. O uso prolongado de máscara pode provocar um aumento de fadiga, sobretudo, aos trabalhadores que se exige um maior esforço físico, por isso há a necessidade de avaliar uma diminuição da meta de produção diária ou aumentar o tempo de produção de cada peça (Chen & Lin, 2020). No setor dos serviços, as empresas viram-se impossibilitadas de enviar os funcionários para prestar assistência técnica ou efetuar a manutenção de equipamentos dos clientes, por exemplo (Rapaccini et al., 2020).

Com a necessidade de garantir a continuidade do negócio, as empresas estão a apostar na inovação, a reestruturar os seus modelos de negócio e a redirecionar os seus produtos, sendo que para se tornarem competitivas neste ambiente de instabilidade, as empresas devem

desenvolver capacidades como a agilidade, flexibilidade, resiliência e velocidade (Lee & Trimi, 2021). Para Rapaccini et al., (2020), a exigência de flexibilidade e redundância numa empresa leva a uma reestruturação dos seguintes 5 princípios: *Pipeline* da logística, a reorganização do local de trabalho, a digitalização, a competitividade de soluções produto/serviço e as oportunidades para novas soluções baseadas no risco:

- *Pipeline* da Logística: Alterar a estratégia de armazenar os produtos e peças em grandes quantidades em grandes armazéns para diminuir os custos de armazenamento para uma estratégia de armazenamento em menores quantidades, mas em localizações mais próximas dos clientes, ou seja, regionalizar o armazenamento (Rapaccini et al., 2020). A regionalização do armazenamento também é conhecida como glocalização (Sarkis et al., 2020). Esta estratégia diminui o impacto na interrupção na cadeia de distribuição, mas aumenta os custos de armazenamento. A descentralização da logística pode assim ser assegurada pelas tecnologias emergentes, por exemplo, o uso da impressão em 3D (Rapaccini et al., 2020), além de diminuir o risco de propagação do vírus para outras regiões. A cadeia de abastecimento deve integrar as empresas que a compõem de ponta a ponta e estabelecer em conjunto os objetivos a cumprir, prevenindo-se de forma proativa de possíveis ameaças (Belhadi et al., 2020).
- Reorganização do local de trabalho: O teletrabalho foi a opção para uma parte considerável de trabalhadores. Contudo, há a necessidade de orientar esses trabalhadores para os resultados, o que se pode conseguir através do uso de ferramentas que permitam a comunicação entre as partes e permita que vários trabalhadores trabalhem no mesmo projeto. Esta é uma alternativa que deve ser desenvolvida para tornar a resposta mais robusta a situações semelhantes ao COVID-19 (Rapaccini et al., 2020). Além disto, as novas tecnologias permitem a sistematização dos sistemas de informação e produção e diminuem assim a necessidade de contacto entre os humanos (Belhadi et al., 2020)
- Digitalização: As tecnologias digitais forneceram o suporte ao cliente em vários formatos, onde se garantiu a privacidade dos clientes através da SC. O período pós-COVID-19 pode permitir a utilização em massa de tecnologias, por exemplo, a IIoT, manutenção preditiva e a RA (Rapaccini et al., 2020). Além destas tecnologias, o DT e o *blockchain* permitem uma conectividade elevada que torna possível melhorar o controlo dos processos de produção e das cadeias de abastecimento (Belhadi et al., 2020).
- Competitividade de soluções produto/serviço: As medidas de contenção impostas para evitar a propagação do vírus estão a ter um grande impacto financeiro nas

empresas. Apesar de não se saber a duração do vírus, a construção e a manutenção da resiliência das empresas deve continuar mesmo após o fim de pandemia. Com isto, o preço dos serviços terá uma tendência de aumento e espera-se que, em particular, os fornecedores de peças de reposição de baixo custo e de outros serviços básicos tenham maiores dificuldades no período pós-COVID-19, sobretudo, devido à concorrência dos fabricantes de baixo custo. A servitização digital é uma solução, ou seja, criar uma plataforma digital de prestação de serviços de modo que crie valor para o cliente (Rapaccini et al., 2020).

- Oportunidades para novas soluções baseadas no risco: Serve para empresas com capacidade de gestão de risco criarem contratos que incluam o pagamento de taxas caso surjam futuros bloqueios e interrupções que impeçam o fornecimento de serviços/produtos aos seus clientes (Rapaccini et al., 2020).

Para Seetharaman (2020), a pandemia veio alterar o modelo de negócios das empresas, apesar de algumas regressarem aos modelos antes do COVID-19, outras vão continuar a apostar na inovação, sobretudo, através da digitalização para enfrentar o “Novo Normal” Pós-COVID-19. A agilidade que demonstraram na resposta à crise, através do estabelecimento de novas parcerias no ecossistema, desenvolvimento de novos produtos e da reorganização dos recursos disponíveis são algumas das características das novas estratégias de criação de valor que permite o desenvolvimento e crescimento das organizações.

Capítulo 5

As Fábricas Inteligentes e as ferramentas da Indústria 4.0 como resposta ao COVID-19

5.1. Fábricas Inteligentes que mitigam o impacto do COVID-19

As fábricas que incorporam ferramentas da I4.0 garantem uma maior capacidade de resposta às alterações causadas pelo COVID-19, uma vez que estão equipadas com máquinas que recebem e transmitem a informação em tempo real através de sensores e redes sem fios sendo controladas através de um sistema que tem acesso a todas as fases do processo produtivo (Javaid et al., 2020). Por exemplo, nos armazéns, a automação e a digitalização melhoram o sistema de gestão de armazéns. Os robôs são capazes de ajudar nas tarefas de armazenamento e exoesqueletos auxiliam os funcionários na movimentação de materiais pesados (Agrawal et al., 2020).

A seguinte imagem retrata o funcionamento de um armazém com o uso das novas tecnologias.

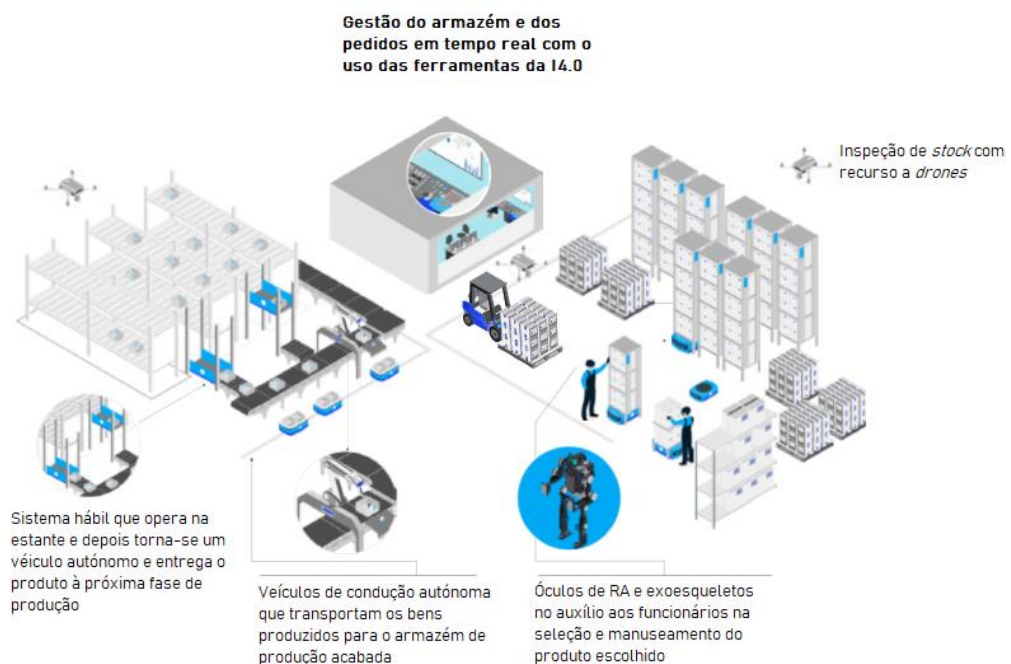


Figura 19: A gestão de armazém e dos pedidos em tempo real com o uso de ferramentas da I4.0, adaptado de (Agrawal et al., 2020).

Nas fábricas, a flexibilização na produção é possível através da IA e da IoT e o rápido desenvolvimento de protótipos é conseguido com a ajuda de programas de simulações e a impressão 3D (Javaid et al., 2020). A *Machine Vision* assegura o controlo de qualidade e os robôs autónomos diminuem a necessidade de intervenção humana e respondem eficazmente à menor disponibilidade de mão de obra (Chen & Lin, 2020). A RA facilita a recolha de dados, os recursos avançados de simulação como o DT permitem a criação de um ambiente virtual da fábrica e a entender possíveis soluções de implementação em ambiente real, as tecnologias vestíveis, por exemplo, as pulseiras, conseguem detetar a localização dos funcionários e emitir um alerta com a aproximação entre eles (Agrawal et al., 2020), os capacetes inteligentes podem medir a temperatura corporal, além disto, as tecnologias vestíveis podem servir como meio de triagem caso surja algum trabalhador infetado (Chen & Lin, 2020).

A automação substitui tarefas que exigem uma mão de obra elevada e que não permite um distanciamento social com segurança. Contudo, equipamentos como as máquinas CNC são controladas por computadores e os teclados ou as telas sensíveis ao toque são um meio de propagação do COVID-19. Como solução, equipamentos podem ser operados através de gestos, voz, ou através de uma aplicação num dispositivo móvel como um *smartphone* (Chen & Lin, 2020). Com isto, as fábricas conseguem contrariar o impacto do COVID-19 e disponibilizar produtos que são requeridos pelo mercado, por exemplo, os equipamentos médicos descartáveis que estão a ter um pico de procura com a pandemia (Javaid et al., 2020).

A imagem 20 retrata um ambiente fabril adaptado às restrições impostas pelo COVID-19, assegurando as necessidades de produção através da implementação das ferramentas da I4.0.

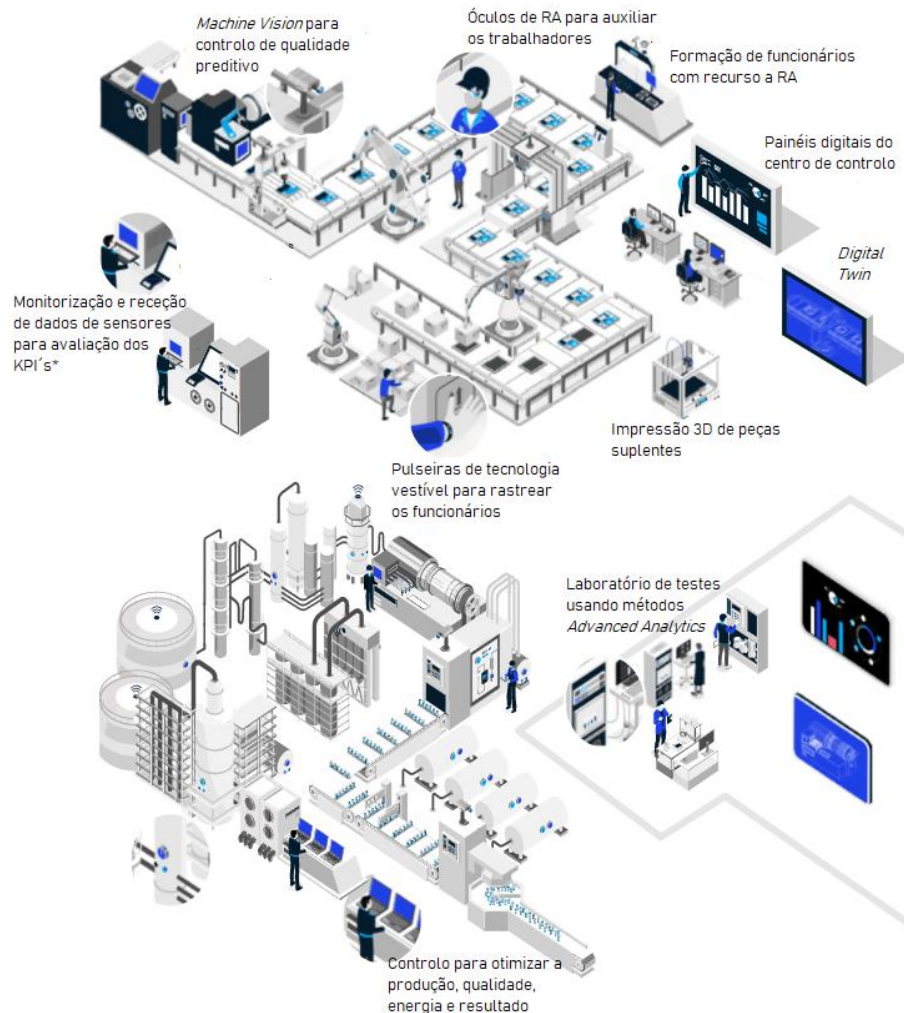


Figura 20: Automação e o uso de IA em ambiente fabril para mitigar o impacto do COVID-19, adaptado de (Agrawal et al., 2020).

As FI levam à integração do mundo virtual com o físico. Se por um lado, o mundo físico é constituído por robôs nas linhas de produção, veículos autónomos que auxiliam, sobretudo, a logística e os operários, sendo que estão conectados e com acesso em tempo real à CC, por outro, o mundo virtual é composto essencialmente por IA e TIC (Li et al., 2020).

De seguida, a imagem 21 retrata uma FI que estabelece a integração do mundo virtual com o mundo físico para responder a surtos como o COVID-19.

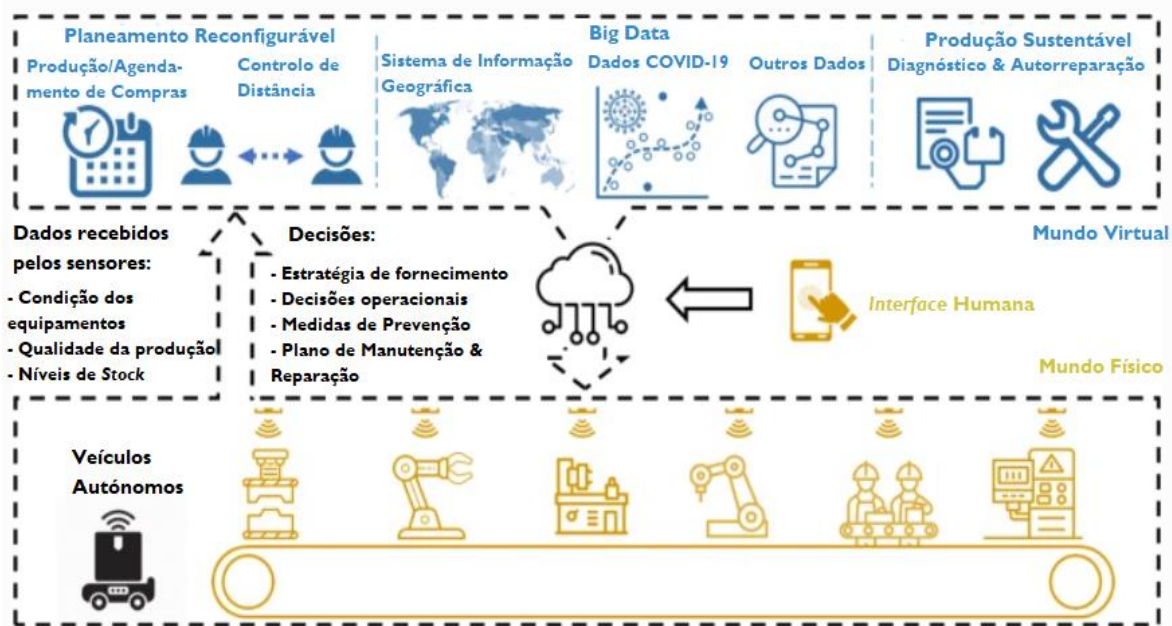


Figura 21: A fabricação inteligente com integração do mundo virtual e do mundo físico para resposta a surtos como o COVID-19, adaptado de (Li et al., 2020).

O planeamento reconfigurável mune-se das aptidões da IA e recebe dados como o estado dos equipamentos, a qualidade de produção e os níveis de *stock*. Além disto, consegue integrar dados referentes ao COVID-19 e ao seu impacto geográfico, devido à capacidade do BD, e apresentar modelos alternativos para que as empresas mantenham a proatividade na produção. As alternativas do planeamento reconfigurável estão disponíveis para a tomada de decisão através da *interface* de um dispositivo inteligente e fornece dados como previsões de compras e vendas, planeamento e otimização da produção, por exemplo. A implementação de um planeamento acertado pode levar a empresa até a aumentar os lucros durante o COVID-19 (Li et al., 2020).

Rapaccini et al., (2020) revela, no seu estudo, que 57% dos inquiridos, assumiram que iniciativas de inovação estão a aumentar devido ao COVID-19. Enquanto algumas empresas ainda se encontram a dar os primeiros passos na introdução de tecnologias, por exemplo, como suporte para a gestão dos serviços e a criação de aplicações para a resolução de problemas, outras empresas estão já a incrementar novas tecnologias como a IIoT e a automatização dos processos produtivos. Num patamar mais elevado, uma pequena parte das empresas revela a aposta em inovações digitais para criar condições para prestar serviços de forma virtual como o uso da RA ou o uso da FA com a impressão em 3D para garantir as peças de reposição que são necessárias. Assim, os inquiridos afirmam que as

empresas que utilizam as novas tecnologias estão mais preparadas para enfrentar a crise imposta pelo COVID-19. A figura 22 ilustra a utilização de algumas tecnologias antes do aparecimento do COVID-19 nas empresas inquiridas e o aumento que se registou no uso das tecnologias com o aparecimento do COVID-19 (Rapaccini et al., 2020).

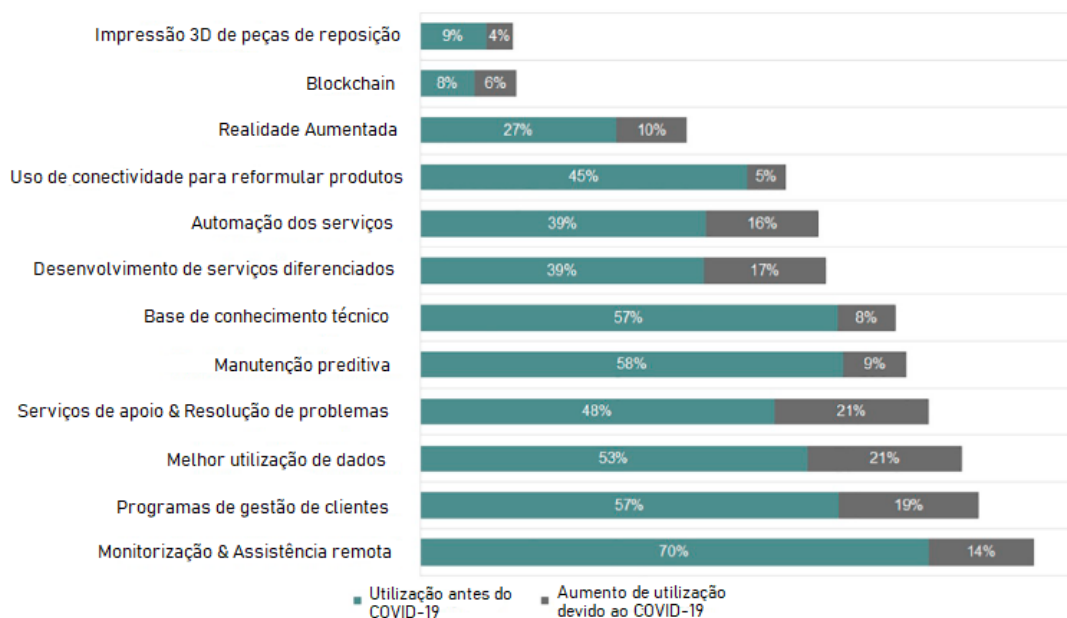


Figura 22: A utilização das novas tecnologias antes e durante o COVID-19 nas empresas, adaptado de (Rapaccini et al., 2020).

A expectativa é que as empresas de qualquer dimensão que implementaram ferramentas da I4.0 para mitigar o efeito do COVID-19 consigam um aumento da eficiência e da produtividade de tal modo que compense os custos da sua implementação e os custos inerentes às paragens de produção ou a impossibilidade de prestarem serviços (Rapaccini et al., 2020).

5.2. A utilidade das ferramentas da I4.0 na Indústria para combater o COVID-19

As várias ferramentas da I4.0 podem ser usadas para mitigar o impacto do COVID-19, uma vez que fornecem soluções que permitem, por exemplo, a flexibilização no trabalho, a diminuição do contacto humano, o planeamento do trabalho, a formação através da RV, modularização da produção ou a prestação de serviços conforme o que é pretendido pelos clientes e responder às necessidades do mercado com inovações digitais e produtos derivados de fabricação avançada (Javaid et al., 2020). Assim, os avanços nas TIC como a IIoT, BD, CC, DT e IA tornam os processos nas fábricas mais facilmente identificáveis e práticos, a sua integração com os CPS reduz o risco de exposição do ser humano ao contágio pelo COVID-19 (Li et al., 2020).

A figura 23 estabelece o benefício das tecnologias inteligentes e da automação perante as adversidades colocadas pelo COVID-19.

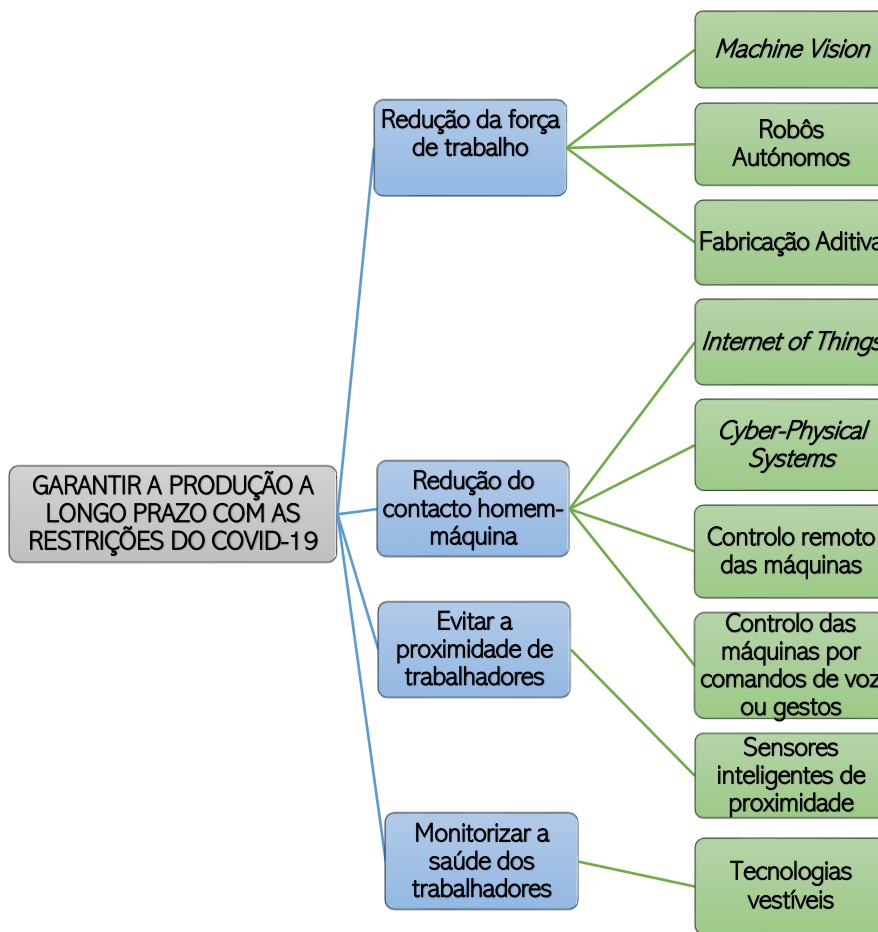


Figura 23: Tecnologias inteligentes e de automação para garantir o funcionamento das fábricas com as restrições do COVID-19, adaptado de (Chen & Lin, 2020).

A literatura existente confirma que as novas tecnologias podem aumentar a competitividade, produtividade e desempenho das empresas e melhorarem os seus modelos de negócios, contudo, ainda é reduzida a literatura que mostra as suas mais valias para lidar com eventos como o COVID-19 (Papadopoulos et al., 2020). Neste sentido, as próximas secções deste capítulo têm como objetivo a seleção, recolha e tratamento da informação disponível em bases de dados científicas, dados de empresas de consultoria e outras fontes com dados credíveis para apresentar de forma individualizada como cada ferramenta da I4.0 pode ajudar a minimizar o impacto que o COVID-19 está a ter no dia a dia, sobretudo, das empresas.

5.2.1. Internet of Things

A IIoT capacitou as empresas e assegurou-se como uma vantagem competitiva durante o COVID-19, uma vez que tem a capacidade de acompanhar o processo de produção do início ao fim (Sengyee, 2020).

A recolha de dados é feita, em grande parte, de forma manual, especialmente nas PME, o que aumenta a possibilidade de ocorrência de erros devido ao stress ou às condicionantes que o COVID-19 coloca. Soluções digitais permitem a recolha de dados através de sensores, por exemplo, e sua exibição posterior em painéis digitais. Com isto, a supervisão pode ser feita de forma remota e em tempo real e permite a realização de reuniões e intervenções com vista à melhoria da eficiência das operações e da mão de obra e a adaptação da produção diária das empresas conforme os requisitos do mercado (Agrawal et al., 2020). Além disto, a capacidade da IIoT permite reorganizar os robôs autónomos e o *layout* da cadeia de produção de modo a criar a distância de segurança entre os trabalhadores para reduzir o risco de contágio (Li et al., 2020).

Nas cadeias de distribuição, a IIoT disponibiliza em tempo real as necessidades de matérias-primas para os seus fornecedores, partilha os dados da produção e o envio dos bens acabados com os *stakeholders* interessados (Li et al., 2020). É uma ferramenta valiosa, sobretudo, em cadeias de distribuição complexas, uma vez que reduz a intervenção humana, além de poupar tempo e energia. O conhecimento da localização dos materiais ou de outros componentes torna o abastecimento mais fácil e torna os sistemas de logística mais inteligentes, além de permitir a logística reversa para produtos residuais (Sarkis et al., 2020). Atendendo à necessidade de regionalizar o armazenamento, o *stock* pode ser feito de acordo com as preferências dos clientes (Rapaccini et al., 2020).

No âmbito medicinal, desenvolveram a *Internet of Medical Things (IoMT)* que usa a tecnologia avançada e a IA para dar suporte às equipas médicas no tratamento de doentes infetados com COVID 19, por exemplo. A IoMT ajuda na partilha de dados, monitoriza os dados dos pacientes e acompanhar os pacientes, mesmo os que estão em isolamento distantes dos centros hospitalares (Pratap Singh et al., 2020).

Segundo Allam & Jones (2021), o COVID-19 veio acelerar o processo de implementação da tecnologia de sexta geração (6G). A rede 6G permite uma hiper conectividade que está além das capacidades da 5G, contudo, deve ser vista como uma atualização às lacunas da 5G. A previsão de lançamento é o ano de 2030 e estima-se que a rede 6G obtenha uma conectividade mil vezes mais rápida do que a 5G o que servirá como estímulo para um uso

maior de dispositivos baseados em IoT, permitindo uma recolha e comunicação de dados maior e de forma menos dispendiosa.

5.2.2. Cloud Computing

Em pleno período de COVID-19 e com as restrições impostas de proximidade física, a CC possibilitou que as pessoas continuassem a trabalhar e a manter contacto com outras pessoas com o recurso a aplicações, por exemplo, o *Zoom Video* ou o *Slack*, ou através de serviços como o *Microsoft Azure* e a *Google Cloud*, por exemplo (Javaid et al., 2020).

Na impossibilidade de enviar equipas técnicas para a manutenção e reparação dos equipamentos dos clientes, algumas empresas usaram uma plataforma informática para ter acesso a algumas máquinas e assim verificar o seu estado de funcionamento, realizar operações de diagnóstico e simples intervenções de manutenção. Além disto, houve empresas que forneceram aos clientes uma formação básica através do uso da aplicação *TeamViewer* (Rapaccini et al., 2020).

5.2.3. Big Data

O BD permite a recolha, o processamento e o entendimento de uma grande quantidade de dados (Belhadi et al., 2020), os dados podem ser estruturados ou não estruturados (Li et al., 2020) e consegue fazê-lo em tempo real o que permite acompanhar a passo a cadeia de abastecimento e a de produção (Belhadi et al., 2020).

Segundo, Li et al., (2020), o BD consegue recolher dados através de imagens, sons, textos e sensores. Recolhe, trata e disponibiliza dados sobre futuros possíveis clientes e a satisfação dos atuais, além de dados sobre o COVID-19 e o seu impacto em determinadas zonas geográficas para antever possíveis agravamentos. A capacidade do BD permite a uma empresa:

- Prever e identificar os gargalos que causem falhas no fornecimento de matérias-primas;
- Estimar a disponibilidade dos fornecedores de matérias-primas;
- Prever mudanças na procura/comportamento dos clientes;
- Prevenir interrupções de produção;
- Compensar os volumes de produção de acordo com a procura do mercado;

Assim, a capacidade do BD contribui para uma tomada de decisão mais correta e para a diminuição dos custos das empresas, uma vez que disponibiliza dados que podem evitar

falhas no abastecimento de matérias-primas e contribuem para a melhor gestão dos recursos humanos.

5.2.4. Robôs autónomos

O uso dos robôs já é anterior ao surgimento do COVID-19, mas a pandemia veio trazer uma outra perspectiva aos empregadores que podem substituir os trabalhadores que realizam trabalhos manuais por robôs autónomos (Coombs, 2020). Numa fábrica, os robôs estão responsáveis pelas entregas de matérias-primas e produtos semiacabados entre as diferentes linhas de produção com o objetivo de colmatar a redução de funcionários e para diminuir o contacto e o manuseio destes materiais por humanos (Agrawal et al., 2020).

Numa linha de produção/montagem, alguns dos processos de montagem como é o caso dos ventiladores, são feitos inteiramente de forma manual, contudo, podem ser alterados para células de trabalho formadas por um trabalhador e um cobot, aumentando assim a automação da produção, sendo os humanos responsáveis pelos trabalhos em que são indispensáveis e os cobots pelos outros trabalhos, como por exemplo, *pick and place* e o aparafusamento (Malik et al., 2020). Além disto, a IA permite que os robôs sejam capazes de diagnosticar a qualidade do produto com o recurso a imagens, identificar defeitos de acordo com operações programadas e melhorar a qualidade das peças por meio de uma reconfiguração do robô. Esta capacidade diminui a intervenção humana na inspeção de qualidade e na realização de testes, diminuindo assim os riscos associados à propagação do COVID-19 (Li et al., 2020).

A implementação de cobots nos sistemas de produção existentes podem significar vantagens como a redução das horas de trabalhos diretas necessárias para a produção, a diminuição do tempo usado para atender aos volumes de produção requeridos, aumento da confiança dos trabalhadores humanos pelo cumprimento do distanciamento social e o seu reaproveitamento para outras tarefas assim que as restrições impostas pelo COVID-19 terminarem ou já não forem mais necessários para compensar o investimento feito na sua aquisição. Além disto, a modularização conseguida pelo trabalho desenvolvido entre as capacidades humanas e do cobot permitem que a produção se adapte à demanda, ou seja, se a procura aumentar, aumenta-se as células de trabalho (humano e cobot), se a procura diminuir, diminuem-se as células de trabalho, uma vez que cada célula de trabalho atua de forma independente das outras (Malik et al., 2020). A figura 24 ilustra o trabalho independente de cada célula de trabalho.

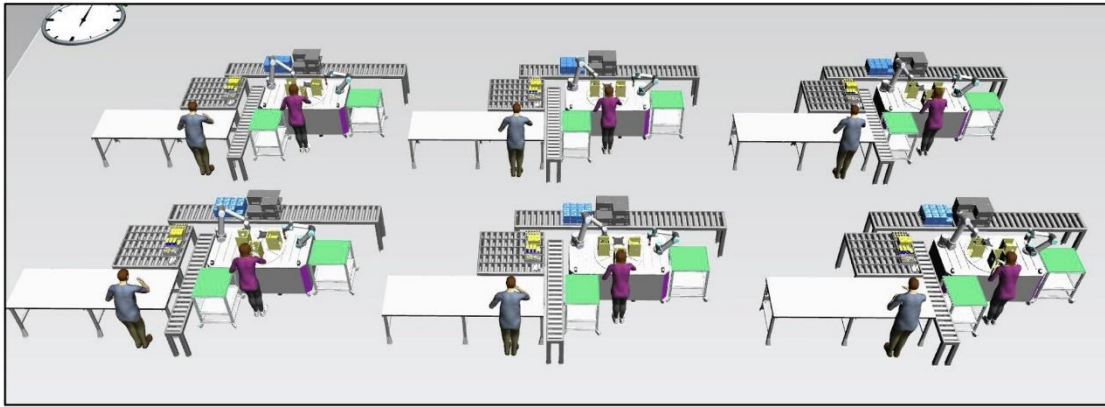


Figura 24 - O trabalho autónomo de cada célula de trabalho, retirado de (Malik et al., 2020)

Apesar de o operador e o cobot partilharem a mesma área de trabalho, é necessário que a célula de trabalho cumpra os padrões da ergonomia, tenha um *design* simples e seja o menor possível para minimizar os movimentos necessários de ambos, o operador tenha visão total do campo de ação do cobot e um sistema de paragem de emergência num local acessível. Além disto, deve seguir um fluxo lógico de produção, minimizar a sobreposição entre a área de trabalho do operador e do cobot e deve manter o seu DT para desenvolver futuras modificações (Malik, et al., 2020). A seguinte figura elucida uma célula de trabalho que respeita a distância de segurança e integra cobots e humanos no mesmo espaço de trabalho de modo a cumprirem com as especificidades e volume de produção estipulada.

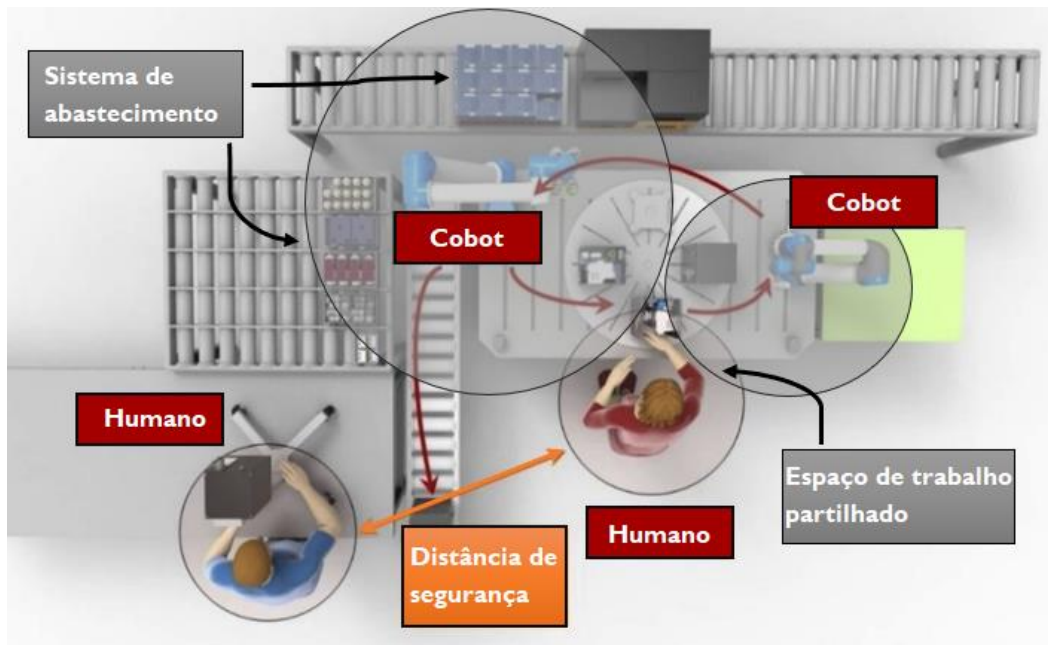


Figura 25 - Célula de trabalho funcional que integra humanos e cobots, adaptado de (Malik et al., 2020)

Para a montagem de um determinado equipamento, por exemplo, ventiladores, com a ajuda dos cobots é necessário o uso de simulações virtuais para validar os processos que os cobots conseguem efetivamente executar. Além disso, é necessário que a produção siga um fluxo lógico e que as atividades predecessoras e sucessoras aos cobots ocupem o mesmo espaço temporal para otimizar o tempo de produção. Depois de atribuir as tarefas a desempenhar pelo cobot e pelo humano é possível calcular o tempo necessário para a produção de um equipamento e a produção diária de cada célula de trabalho, com isto, consegue-se calcular as células de trabalho necessárias para responder aos pedidos e entregá-los no espaço de tempo estipulado pelo cliente (Malik et al., 2020).

A emergência do aumento da automação ou do nível de produção podem ser conseguidos através da *Factory-in-a-box*. Estas unidades de produção modulares são móveis, fáceis de implantar e reconfiguráveis, sendo já utilizadas para conflitos militares e para os serviços de saúde. A implementação deste *hardware* nos sistemas de produção das fábricas desenvolve a sua reconfigurabilidade (Malik et al., 2020).



Figura 26 - Exemplo de unidade móvel de produção (*Factory-in-a-box*), retirado de (Malik et al., 2020)

Grandes multinacionais estão a usar as tecnologias emergentes, a *Walmart* usa os robôs para tarefas de limpeza e a *Amazon* para o tratamento e expedição de encomendas. Alguns países optaram por colocar robôs em sistemas de saúde para fazerem o rastreio de pacientes possivelmente infetados e a desinfeção de espaços (Coombs, 2020). Além disso, robôs autónomos podem auxiliar noutras tarefas médicas nos hospitais e estão habilitados para ser usados pela polícia para o patrulhamento (Javaid et al., 2020).

5.2.5. Simulações

A simulação virtual, neste caso, o DT possibilita a representação virtual da agregação dos dados dos projetos com os elementos físicos do sistema de produção. Devido à necessidade de diminuir o contacto humano, o recurso ao DT, permite obter simulações virtuais sobre a segurança na operação entre humanos e cobots no mesmo espaço, assim apoia a tomada de decisão e permite que sejam feitas otimizações e a validação das soluções antes de serem implementadas no ambiente real, diminuindo, por exemplo, o risco de possíveis acidentes de trabalho (Malik et al., 2020). Além disto, uma empresa de logística introduziu a tecnologia DT para estruturar um modelo que diminuísse os custos e o tempo de entrada e saída da mercadoria do armazém, sendo que esses trabalhos eram efetuados sem intervenção humana, apenas por robôs e *drones* (Agrawal et al., 2020).

A seguinte figura retrata a simulação virtual através do DT e o ambiente real num determinado passo do processo de produção.

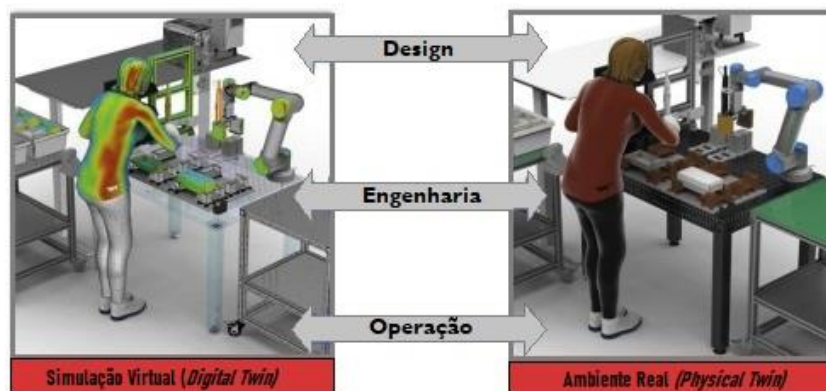


Figura 27 - A simulação de um passo do processo de produção através de *Digital Twin*, adaptado de (Malik et al., 2020)

O uso das simulações auxilia a tomada de decisão, por exemplo, a simulação das cadeias de abastecimento fornece cenários hipotéticos que contribuem para diminuir as incertezas quanto a possíveis falhas (Belhadi et al., 2020). Ivanov (2020) usou um modelo de simulação para uma empresa que tem fornecedores, fábricas, centros de distribuição e clientes em várias zonas geográficas e assim prever o impacto do COVID-19. O programa de simulação usado foi o *AnyLogistix* que disponibilizou a simulação, a otimização e a visualização virtual da cadeia de abastecimento dessa empresa, construindo assim o seu DT.

No pós-COVID-19, com as redes 6G, será possível criar a criação de um DT completo das instalações da produção industrial, conseguindo examinar e fazer alterações de forma remota, permite assim que a produção seja controlada a vários quilómetros de distância,

sendo vantajoso para diminuir o risco em locais/ambientes perigosos para o ser humano, por exemplo, nas escavações de minério. A rede 6G, deste modo, além da simulação, garante a execução de tarefas que requerem elevado desempenho (Allam & Jones, 2021).

5.2.6. Sistemas Integrados (vertical, horizontal e *ponta a ponta*)

A interrupção causada pelo COVID-19 nos fluxos das empresas afetou mais severamente aquelas que tinham os departamentos a gerirem e a trabalharem de forma isolada (receção de matéria prima, produção, logística e vendas). Neste sentido, viram a necessidade de ter uma maior colaboração entre os departamentos da empresa e os *stakeholders*, ou seja, integrar de ponta a ponta a cadeia de valor do produto (Agrawal et al., 2020). A figura 28 exemplifica a integração dos departamentos na própria empresa.



Figura 28: A integração dos departamentos numa fábrica, adaptado de (Agrawal et al., 2020).

Os programas tradicionais de previsões de vendas são feitos com base nas vendas passadas e noutros fatores internos das empresas, não estando preparados para fenómenos como o do COVID-19. Em contrapartida, a IA, a automação e outras metodologias da *Advanced Analytics*, podem combinar os dados internos da empresa, dos *stakeholders*, previsões e outros indicadores económicos e sociais que permitem que a empresa tome decisões que melhore o desempenho da cadeia de valor do produto (Agrawal et al., 2020).

A integração de ponta a ponta e o uso da IA possibilita ao departamento de produção o acesso à previsão de procura, o replaneamento e a sua programação em tempo real através de metodologias *Advanced Analytics*. No departamento de gestão de pedidos, possibilita-se que os clientes escolham os produtos, sendo enviados automaticamente para a produção, e acompanhem os seus pedidos em tempo real, o que permite uma otimização da eficiência.

O departamento de planeamento e controlo consegue controlar o negócio de ponta a ponta de forma digital, integrada e totalmente funcional o que permite a análise, o planeamento e a tomada de decisão com base no custo/benefício, cenários hipotéticos e modelos de risco (Agrawal et al., 2020).

Alguns fabricantes conectaram-se com os clientes através de uma rede de dados moderna para a troca de forma estruturada de dados de modo a planear melhor a resposta à crise. Um fabricante de bens de consumo apostou num sistema de dados de oferta e procura para o planeamento das suas vendas e recebia os dados através de sensores integrados ao longo da cadeia. Outro fabricante de bens de consumo, com o objetivo de diminuir o impacto do COVID-19 no negócio que tem na Ásia, gerou um modelo para prever o comportamento de clientes e fornecedores com 10 anos de antecedência e conseguiu assim reajustar a produção e recolocar os recursos conforme as necessidades (Agrawal et al., 2020).

5.2.7. Segurança Cibernética

A SC foi desvalorizada pelas empresas com a necessidade de manter os funcionários a trabalhar em plena pandemia (Babbs, 2020). Contudo, já antes da pandemia as empresas valorizavam pouco a SC no teletrabalho. De acordo com o inquérito do *National Cyber Security Centre* do Reino Unido realizado em dezembro de 2019, as empresas britânicas negligenciavam a SC no trabalho doméstico e móvel, sendo que 75% não estavam preparadas para o teletrabalho e apenas 11% concedia formação de SC aos seus trabalhadores, ou seja, os trabalhadores seguiam padrões estabelecidos e não agiam apenas por bom senso (Furnell & Shah N., 2020).

A descentralização devido ao teletrabalho fez aumentar os crimes cibernéticos em 30 000%. Os funcionários trabalhavam em localizações diferentes e a partir de vários dispositivos, por isso esta situação aliada ao erro humano pode contribuir para um aumento da perda de dados através de *emails* enviados para endereços errados, por exemplo. Soluções da SC permitem que a empresa crie verificações de segurança para os funcionários confirmarem os destinatários dos *emails* e os anexos antes do envio, protegendo-se, sobretudo, de ataques de *phishing* ou podem criar uma solução que não permita o envio a endereços desconhecidos, sendo possível implementar essa solução de forma independente nos vários departamentos da empresa, por exemplo, o departamento de vendas não receber dados do departamento financeiro por engano (Babbs, 2020).

A prevenção e a formação dos funcionários diminuem probabilidade de perda de informações confidenciais sobre os fornecedores e clientes ou mesmo da empresa, por exemplo, sobre o lançamento de um novo produto e que se pode refletir em elevadas perdas

para a empresa (Babbs, 2020). Além disto, há aumento de pessoas a trabalhar de acordo com a Economia Gig o que obriga a uma flexibilização e implementação de práticas de SC adicionais nas empresas para que os trabalhadores abrangidos pela Economia Gig saibam fazer uma distinção precisa entre a empresa que estão no momento e os outros empregadores que podem ter (Furnell & Shah N., 2020).

O regresso à atividade das empresas e o retorno dos funcionários aos escritórios para enfrentarem o “Novo Normal” deve ser acompanhado de soluções de SC que respeitem o modo de trabalho híbrido. O modo de trabalho híbrido consegue-se com a formação contínua dos funcionários, recomendações e soluções de segurança que detetem e impeçam o erro humano (Babbs, 2020).

5.2.8. Fabricação Aditiva

A FA respondeu prontamente a alguns obstáculos colocados pelo COVID-19, devido à capacidade de produção de peças de forma rápida e sem a necessidade de grandes ferramentas, além da produção ser possível no local onde a peça é necessária (Arora et al., 2020). A FA permite a construção de resiliência local nas empresas, uma vez que a impressão 3D permite a impressão de peças de reposição e evita a obsolescência prematura dos equipamentos e incentiva à sua reutilização (Sarkis, et al., 2020). Assim, a FA foi fundamental para obter vários dispositivos com formatos diferentes através da impressão em 3D (François et al., 2020). A figura 29 retrata o processo da FA que permite uma resposta rápida e local contra as adversidades colocadas pelo COVID-19.

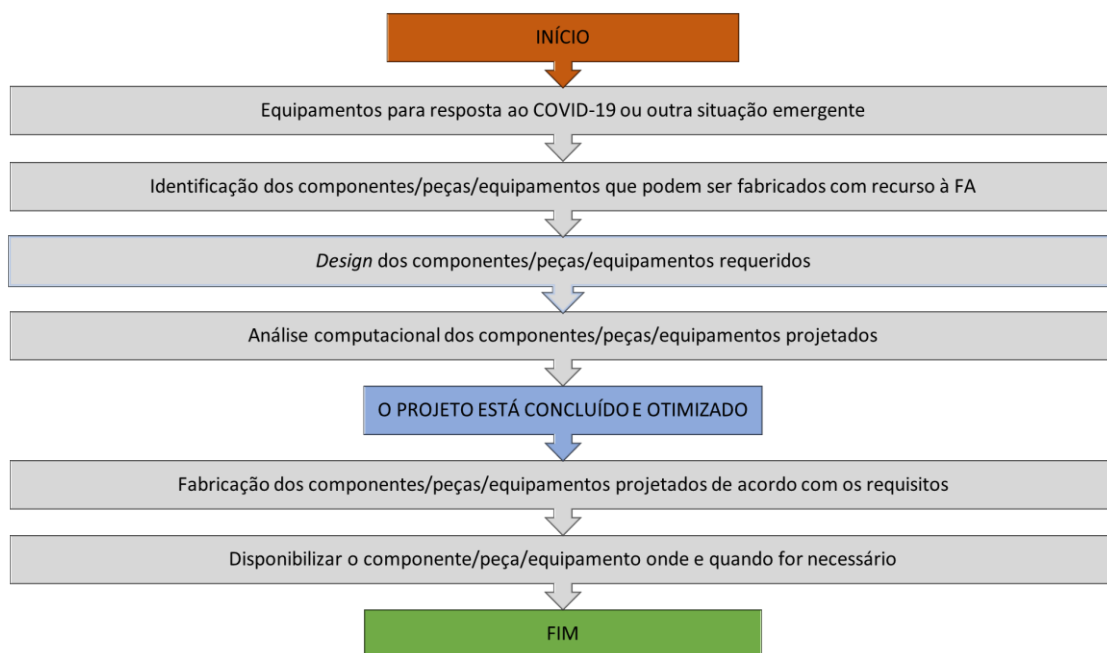


Figura 29: Os passos para a projeção e produção com recurso à FA, adaptado de (Arora et al., 2020).

Durante a pandemia, o uso da FA permitiu, por exemplo, a criação da máscara *3D NanoHack* que é reutilizável e pode-se reciclar, posteriormente (Javaid et al., 2020). Além disto, permitiu a produção de ventiladores, cotonetes para testes, protetores faciais, suportes para desinfetantes e outros aparelhos de auxílio à respiração de infetados pelo vírus (Arora et al., 2020).

Em Paris, na França, num espaço temporal de 4 dias, foram encomendadas, entregues e colocadas em funcionamento 60 impressoras de 3D, trabalhando 24 horas por dia, 7 dias por semana, estando responsáveis pela produção 5 engenheiros. Devido às características necessárias dos objetos, a produção de abridores (presos com cliques ou braçadeiras) e ganchos para portas foi feita através da impressão pelo método *Fused Deposition Modelling* e os pressionadores de botão através de uma tecnologia da *Vat Photo Polymerization*. O objetivo da produção era evitar o contacto humano com superfícies possivelmente infetadas e responder às necessidades do mercado, principalmente, dos hospitais. Em 45 dias de atividade produziram 750 abridores de portas, a 15 de maio produziram 20 ganchos para as portas e a 15 de junho produziram 850 botões de pressão. De salientar que a produção era feita conforme as necessidades e as especificidades de cada porta. Neste sentido, a impressão 3D assegurou a criação dos protótipos e a produção de milhares de dispositivos comuns, mas com as especificidades adequadas a cada necessidade e deu uma resposta eficaz no combate ao COVID-19 (François et al., 2020).

5.2.9. Realidade Aumentada/Realidade Virtual

Devido às restrições de deslocamento, os serviços de assistência técnica ou manutenção podem ser efetuados com o uso de óculos de RA e assim evitar ou diminuir as paralisações da produção (Agrawal et al., 2020; Rapaccini et al., 2020). Em ambiente fabril, a RA atua como uma ferramenta importante na monitorização e otimização dos equipamentos e dos processos utilizados o que leva a uma melhoria contínua na indústria em termos de produção, qualidade e rendimento. Permite assim, a continuidade das operações, inclusive com a redução da força de trabalho disponível. (Agrawal et al., 2020). A RV permitiu a realização de videochamadas que garantiu a proximidade das pessoas sem estar no mesmo espaço físico com vantagens como a melhoria da eficiência e do trabalho em grupo, o menor absentismo e uma diminuição do impacto ambiental com a exclusão da necessidade de deslocação (Javaid et al., 2020).

A holografia apresenta fotografias em 3D em várias perspetivas diferentes. Esta alternativa possibilitou a virtualização dos eventos das empresas, lançamento de novos produtos e o desenvolvimento/construção de novas marcas. O uso da holografia diminuiu o risco de

exposição de funcionários, clientes e oradores ao COVID-19, uma vez que podiam estar em casa e comparecer à apresentação de imagens reais e transmissões ao vivo através do *streaming* disponibilizado que oferecia imagens de alta qualidade (Javaid et al., 2020).

No futuro, a rede 6G vai interligar o mundo real e o mundo digital com a Realidade Imersiva. Com isto a RA, RV, eventos ao vivo e outras realidades virtuais serão englobadas pela Realidade Imersiva, contribuindo para várias áreas, por exemplo, a indústria, saúde e educação, garantindo uma telepresença próxima da perfeição através da baixa latência da conexão estabelecida (Allam & Jones, 2021).

5.2.10. Resumo utilidade das ferramentas da I4.0 na Indústria para combater o COVID-19

Depois de apresentada a utilidade das ferramentas da I4.0 na mitigação ao COVID-19 nas subsecções anteriores do capítulo 5, esta subsecção apresenta uma tabela, em modo de resumo, com as consequências/necessidades provocadas pelo COVID-19, de forma vertical, e as ferramentas da I4.0, de forma horizontal, sendo assinaladas com “X” quando determinada ferramenta da I4.0 consegue auxiliar na mitigação de determinado impacto provocado pelo COVID-19. Salienta-se que a tabela está de acordo com as subsecções anteriores do capítulo 5, por isso pode existir outros benefícios das ferramentas da I4.0 na mitigação das necessidades impostas pelo COVID-19 que não se encontram assinaladas.

Tabela 8 - Consequências do COVID-19 nas empresas e capacidade das ferramentas da I4.0 na mitigação dos seus efeitos, elaboração própria do autor.

	CPS	IoT	CC	BD	Robôs Autónomos	Simulações	Sistemas Integrados	SC	FA	RA/RV	Tecnologias Vestíveis
Redução da força de trabalho					X				X		
Redução do contacto homem/máquina (comandos de voz ou gestos)	X	X									
Distanciamento social entre trabalhadores					X					X	X
Monitorizar a saúde dos trabalhadores		X									X
Monitorizar a cadeia de abastecimento		X		X							
Supervisão da produção		X									
Adaptar a produção às necessidades diárias	X	X									
Recolha de dados através de sensores		X									
Teletrabalho			X							X	
Assistência técnica remota			X							X	
Formação remota aos clientes			X							X	
Recolha/Processamento de informações sobre COVID-19 e impacto em determinadas regiões				X							
Prever a disponibilidade de matérias primas				X							
Prever mudanças na procura/comportamento do consumidor				X							
Prever e identificar gargalos				X							
Substituição/Trabalhar em conjunto com os humanos					X						
Auxílio na receção/expedição do armazém					X						

	CPS	IoT	CC	BD	Robôs Autônomos	Simulações	Sistemas Integrados	SC	FA	RA/RV	Tecnologias Vestíveis
Auxílio em tarefas médicas/patrolhamento					X						
Simulação de trabalho entre cobot e humano						X					
Simulação dos processos de produção da empresa, incluindo entrada e saída de mercadorias						X					
Simulação de cenários das cadeias de abastecimento						X					
Troca estruturada e digital de dados entre departamentos da empresa							X				
Troca estruturada e digital de dados entre <i>stakeholders</i>							X				
Segurança do teletrabalho								X			
Prevenção de ataques de <i>phishing</i>								X			
Prevenção sobre perda e transferência de dados indevida (Teletrabalho e trabalhadores abrangidos pela Economia de Gig)								X			
Produção de peças de reposição									X		
Produção de equipamentos (máscaras, viseiras,...)									X		
Resposta rápida na produção à procura emergente		X							X		
Virtualização de eventos/lançamento de produtos										X	
Formação de funcionários										X	
Auxílio aos funcionários na verificação de defeitos na produção										X	

Capítulo 6

Conclusões

6.1. Considerações Finais

A I4.0 é um tema que tem sido bastante desenvolvido nos últimos anos, desde que se anunciou como uma nova possível Revolução Industrial. Países, empresas, investigadores e outras pessoas interessadas no tema procuram entender o impacto que as tecnologias habilitadoras da I4.0 (também apresentadas como ferramentas da I4.0 ao longo do estudo) podem ter no seio da organização ou mesmo a nível macroeconómico. Contudo, o tema ainda se encontra em constante evolução e não se consegue prever o seu alcance real. Em termos práticos, a sua implementação está a ser feita, na sua maioria, por empresas de maior dimensão devido à maior capacidade financeira e à maior qualificação dos seus funcionários, aumentando assim a vantagem para empresas que atuam de forma reativa ou que não procuram a inovação e as novas tecnologias como base para responderem às necessidades cada vez mais particulares que o mercado apresenta.

As incertezas quanto à utilidade e funcionalidade das tecnologias habilitadoras para aumentar a automação e a digitalização, principalmente na indústria, têm sido dissipadas com a sua aplicação. Conforme apresentado ao longo do estudo, a IIoT, o BD, a CC e as simulações permitem digitalizar, acompanhar, simular, receber e transmitir dados em tempo real de todos os processos da fábrica, além de permitir a visibilidade e a integração dos sistemas de ponta a ponta, sendo estes procedimentos protegidos através da SC. A inteligência dos robôs autónomos diminui a necessidade de intervenção humana e as funcionalidades da RA/RV auxiliam, por exemplo, a formação dos funcionários, a análise e deteção de erros para diminuir os defeitos na produção, a FA permite a reposição de peças de substituição ou a produção de peças num curto espaço de tempo para responder a uma necessidade imediata, através de um dos processos de impressão 3D. Assim, de um modo geral, as FI com os CPPS garantem uma produção modular e interoperável que possibilita a criação de valor para as empresas, a reorganização do trabalho e uma alteração dos modelos de negócio, sobretudo, para modelos mais sustentáveis, optando, por exemplo, pelos princípios da EC que ficam mais acessíveis com o recurso às ferramentas da I4.0.

O surgimento inesperado do COVID-19 veio reforçar a importância da I4.0 e diferenciar as empresas e fábricas 4.0 das fábricas ou empresas que seguem os modelos tradicionais, ou

seja, as capacidades da I4.0 permitiram que as empresas tivessem capacidade de resposta a várias necessidades que o mercado colocou e assim mitigou o impacto do COVID-19. A necessidade de diminuir o contacto entre humanos, mas garantir a continuidade do ensino, das cadeias de abastecimento, da produção nas fábricas, da prestação de serviços e outras atividades indispensáveis para o funcionamento das empresas e, assim, assegurar o trabalho e o rendimento de várias famílias foi devido, em grande parte, às capacidades da I4.0, isto porque garantiu, por exemplo:

- Teletrabalho;
- Produção de peças de reposição para evitar paragens nas máquinas das fábricas, além equipamentos como ventiladores, máscaras, viseiras e outros utensílios necessários para a proteção contra o COVID-19 através da FA;
- Readaptação de cadeias de fabricação e alteração da produção em tempo real para responder às necessidades emergentes do mercado;
- Virtualização de todos os processos internos da empresa e externos com os ecossistemas criados que permitia o acesso de forma remota e em tempo real;
- Uso de *drones*, robôs e veículos autónomos para diminuir o contacto humano e assegurar a receção e movimentação de matérias-primas, produção e movimentação e envio dos produtos acabados para os clientes;
- Prestação de serviços de assistência técnica/manutenção de forma digital e remota;
- Análise do impacto do COVID-19 em termos geográficos para responder de forma eficiente às necessidades e evitar falhas nas cadeias de abastecimento

Além do uso das ferramentas da I4.0, as empresas tiveram de desenvolver capacidades como resiliência, agilidade, flexibilidade e redundância, por isso disponibilizaram-se modelos para gerir a crise provocada pelo COVID-19 que podem ser usados pelos gestores/administradores e adaptá-los às necessidades específicas de cada empresa e assim garantir uma resposta mais eficaz. A previsão é que alguns dos novos modelos de negócios adotados, das novas tecnologias incorporadas e das reorganizações feitas no trabalho sejam mantidas no pós-COVID-19 para enfrentar o “Novo Normal”. Para (Rapaccini, et al., 2020), o uso de soluções mais digitais é um dos recursos para responder às próximas emergências globais como crises políticas, crises financeiras ou questões ambientais e de saúde, contudo, apresentam fragilidades a guerras cibernéticas ou a falhas de energia. Neste sentido, as empresas devem manter a resiliência, a robustez e as aprendizagens retiradas das crises passadas, apostando cada vez mais numa produção inteligente e voltada para a oferta de produtos e serviços digitais.

6.2. Limitações do estudo

As limitações do estudo devem-se à atualidade do tema, uma vez que o COVID-19 ainda continua a flagelar os países, empresas e países, e não se sabe ao certo quando deixará de condicionar o seu dia a dia. Com isto, a informação sobre como a I4.0 pode mitigar o impacto do COVID-19 é reduzida, sobretudo, a informação disponibilizada em bases científicas e outras fontes fidedignas. Acredita-se que a parca informação se deve a algum desconhecimento sobre como aproveitar as tecnologias para amenizar o efeito COVID-19, à não divulgação da informação pelas empresas para manter vantagens competitivas em relação aos concorrentes e também ao facto de vários estudos sobre mesmo tema, ou com alguma similaridade, estarem a ser feitos no mesmo espaço temporal do que este.

Durante o processo de investigação, não se encontrou nenhum estudo com os mesmos alicerces e que abordasse de forma tão detalhada como as várias ferramentas da I4.0 estão a ser e podem ser aplicadas, além de apresentar cenários para a reorganização do modo de trabalho e dos modelos de negócio para que as empresas enfrentem este período pandémico e o “Novo Normal” com características e capacidades mais resilientes, ágeis, flexíveis e, sobretudo, digitais. Neste sentido, este estudo apresenta um carácter que se pode considerar de alguma forma pioneiro por estar focado, sobretudo, em analisar os benefícios da I4.0 na reorganização do trabalho e na melhoria dos processos industriais.

6.3. Linha orientadoras para futuras investigações

Este estudo recolheu, analisou e agrupou a reação de alguns países e, sobretudo, de empresas à crise do COVID-19, apresentando modelos e elementos importantes para gerir a crise e a utilidade das ferramentas I4.0.

A futura linha orientadora de investigação deste estudo pode procurar entender, efetivamente, a importância das novas tecnologias da I4.0 e da IA nas fábricas e a alteração dos modelos de negócios para oferecer produtos e serviços mais digitais ou com uma maior base digital. Neste sentido, perspetiva-se a possibilidade de apresentar um modelo de negócios que incorpore as ferramentas da I4.0, mitigue o impacto do COVID-19 e alcance um nível de resiliência, flexibilidade, agilidade e modularidade que permita a criação de valor pela empresa para alcançar vantagens competitivas sobre a concorrência e que esteja preparado para o “Novo Normal” e possíveis crises/ameaças futuras.

Bibliografia

Agrawal, M., Eloom, K., Mancini, M. & Patel, A., 2020. *Industry 4.0: Reimagining manufacturing operations after COVID-19*. McKinsey & Company. [Online] Available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/industry-40-reimagining-manufacturing-operations-after-covid-19/pt-br> [Acedido em 7 novembro 2020].

Alcácer, V. & Cruz-Machado, V., 2019. Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, Volume 22, pp. 899-919.

Allam, Z. & Jones, D. S., 2021. Future (post-COVID) digital, smart and sustainable cities in the wake of 6G: Digital twins, immersive realities and new urban economies. *Land Use Policy*, Volume 101.

Arora, P. K., Arora, R., Haleem, A. & Kumar, H., 2020. Materials Today : Proceedings Application of additive manufacturing in challenges posed by COVID-19. *Materials Today: Proceedings*, pp. 8-10.

Babbs, A., 2020. How to leverage data security in a post-Covid world. *Computer Fraud & Security*, 2020(10), pp. 8-11.

Banco de Portugal, 2020. *Comunicado do Banco de Portugal sobre o Boletim Económico de março de 2020*. [Online] Available at: <https://www.bportugal.pt/comunicado/comunicado-do-banco-de-portugal-sobre-o-boletim-economico-de-marco-de-2020> [Acedido em 27 abril 2020].

Barreto, L., Amaral, A. & Pereira, T., 2017. Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, Volume 13, pp. 1245-1252.

Belhadi, A. et al., 2020. Technological Forecasting & Social Change Manufacturing and service supply chain resilience to the COVID-19 outbreak : Lessons learned from the automobile and airline industries. *Technological Forecasting & Social Change*.

Ben-Ari, M. & Mondada, F., 2017. *Chapter 1: Robots and Their Applications. Elements of Robotics*. [Online] Available at: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-62533-1.pdf> [Acedido em 16 abril 2020].

Bordo, M. D. & Haubrich, J. G., 2017. Deep Recessions, Fast Recoveries, and Financial Crises: Evidence From the American Record. *Economic Inquiry*, 55(1), pp. 527-541.

Botelho, J. M. & Cruz, V. A. G. d., 2013. Unidade 2 - Considerações metodológicas sobre projetos de pesquisa. Em: C. d. Ideias, ed. *Metodologia Científica*. São Paulo: Pearson Education do Brasil, pp. 37-75.

Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J. & Watson, T., 2018. The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. *Computers in Industry*, Volume 101, pp. 1-12.

Brem, A., Nylund, P. & Viardot, E., 2020. The impact of the 2008 financial crisis on innovation: A dominant design perspective. *Journal of Business Research*, Volume 110, pp. 360-369.

Büchi, G., Cugno, M. & Castagnoli, R., 2020. Smart factory performance and Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 150.

Buer, S. V., Strandhagen, J. O. & Chan, F. T., 2018. The link between industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, Volume 56, pp. 2924-2940.

Carvalho, N., Chaim, O., Cazarini, E. & Gerolamo, M., 2018. Manufacturing in the fourth industrial revolution: A positive prospect in Sustainable Manufacturing. *Procedia Manufacturing*, pp. 671-678.

Chen, T. & Lin, C. W., 2020. Smart and automation technologies for ensuring the long-term operation of a factory amid the COVID-19 pandemic: an evolving fuzzy assessment approach. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 3545-3558.

Chen, Y., 2017. Integrated and Intelligent Manufacturing: Perspectives and Enablers. *Engineering*, Volume 3, pp. 588-595.

Chiarello, F., Trivelli, L., Bonaccorsi, A. & Fantoni, G., 2018. Extracting and mapping industry 4.0 technologies using wikipedia. *Computers in Industry*, Volume 100, pp. 244-257.

Coombs, C., 2020. Will COVID-19 be the tipping point for the Intelligent Automation of work? A review of the debate and implications for research. *International Journal of Information Management*.

COTEC Portugal, 2019. *Indústria 4.0 - Fase II*. [Online]
Available at: https://cotecportugal.pt/wp-content/uploads/2019/12/COTEC-Pi4.0_Apresentacao-da-II-Fase-Programa-i4.0.pdf
[Acedido em 2020 abril 2].

Dassisti, M. et al., 2018. An approach to support I4.0 adoption in SMEs: a core-metamodel and applications. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), pp. 42-47.

Deloitte, 2020. *Deloitte: Prever a recuperação pós-pandemia: Uma visão da economia em tempo real para preparar a recuperação do seu negócio*. [Online]
Available at: <https://www2.deloitte.com/pt/pt/pages/about-deloitte/articles/covid-19-dashboard-de-recuperacao-economica.html#>
[Acedido em 11 dezembro 2020].

EFFRA, 2016. *European Factories of the Future Research Association: Factories 4.0 and Beyond: Recommendations for the work programme 18-19-20 of the FoF PPP under Horizon 2020*. [Online]
Available at:
https://www.effra.eu/sites/default/files/factories40_beyond_v31_public.pdf
[Acedido em 26 março 2020].

EFFRA, 2017. *Factories of the Future Public-Private Partnership: Progress Monitoring Report for 2017*. [Online]
Available at:

https://www.effra.eu/sites/default/files/fof_cppp_progress_monitoring_report_for_2017_online.pdf

[Acedido em 28 março 2020].

EFFRA, 2019. *European Factories of the Future Research Association: Vision for a Manufacturing Partnership in Horizon Europe 2021-2027*. [Online]

Available at:

https://www.effra.eu/sites/default/files/190312_effra_roadmapmanufacturingppp_eversion.pdf

[Acedido em 27 março 2020].

El-Erian, M., 2014. *'The New Normal' Has Been Devastating For America*. *Business Insider*. [Online]

Available at: <https://www.businessinsider.com/el-erian-state-of-the-new-normal-2014-3>

[Acedido em 14 setembro 2020].

Esmaeilian, B., Behdad, S. & Wang, B., 2016. The evolution and future of manufacturing: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, Volume 39, pp. 79-100.

European Commission, 2013. *European Commission: Factories of the Future PPP: towards competitive EU manufacturing*. [Online]

Available at: https://ec.europa.eu/research/press/2013/pdf/ppp/fof_factsheet.pdf

[Acedido em 29 março 2020].

Eurostat, 2020. *COVID 19: European Statistical Recovery Dashboard: Economic trends*. [Online]

Available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/home?>

[Acedido em 11 dezembro 2020].

Evans, D., 2011. *The Internet of Things: How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything*. Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG).. [Online]

Available at:

https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf

[Acedido em 13 abril 2020].

Federal Minister of Education and Research, 2018. *Federal Ministry of Education and Research: Research and Innovation that benefit the people: The High-Tech Strategy 2025*. [Online]

Available at:

https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub/Research_and_innovation_that_benefit_the_people.pdf

[Acedido em 29 março 2020].

Federal Minister of Education and Research, 2019. *Federal Ministry of Education and Research: The High-Tech Strategy 2025: Progress Report*. [Online]

Available at:

https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub/The_High_Tech_Strategy_2025.pdf

[Acedido em 29 março 2020].

Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2019. *Federal Ministry for Economic Affairs and Energy: Plattform Industrie 4.0: Digital Transformation "Made in Germany"*. [Online]

Available at: <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/plattform-industrie-4->

[o-digital-transformation.pdf? blob=publicationFile&v=11](#)
[Acedido em 28 março 2020].

Federal Ministry of Education and Research, 2010. *Federal Ministry of Education and Research: Ideas. Innovation. Prosperity. High-Tech Strategy 2020 for Germany*. [Online]
Available at: <https://www.manufacturing-policy.eng.cam.ac.uk/documents-folder/policies/germany-ideas-innovation-prosperity-high-tech-strategy-2020-for-germany-bmbf/view>
[Acedido em 28 março 2020].

Federal Reserve, 2020. *Federal Reserve: Board of Governors of the Federal Reserve System: Industrial Production and Capacity Utilization - G.17*. [Online]
Available at: <https://www.federalreserve.gov/releases/g17/current/default.htm>
[Acedido em 25 setembro 2020].

Feng, C., Ling, L. & Ling, C., 2001. An object oriented intelligent design tool to aid the design of manufacturing systems. *Knowledge-Based Systems*, Volume 14, pp. 225-232.

François, P. M. et al., 2020. 3D-printed contact-free devices designed and dispatched against the COVID-19 pandemic: The 3D COVID initiative. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, Volume 878, pp. 1-5.

Frieden, J., 2008. *Capitalismo global - História econômica e política do Séc. XX*. Rio de Janeiro: Zahar.

Furnell, S. & Shah N., J., 2020. Home working and cyber security – an outbreak of unpreparedness ?. *Computer Fraud & Security Bulletin*, 2020(8), pp. 6-12.

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. & Hultink, E. J., 2017. The Circular Economy – A new sustainability paradigm?. *Journal of Cleaner Production*, Volume 143, pp. 757-768.

Gjaja, M., Fæste, L., Hansell, G. & Hohner, D., 2020. *COVID-19: Win the Fight, Win the Future. The Boston Consulting Group*. [Online]
Available at: <https://www.bcg.com/publications/2020/covid-scenario-planning-winning-the-future-series.aspx>
[Acedido em 26 abril 2020].

Gonçalves, H. d. A., 2005. *Manual de Metodologia da Pesquisa Científica*. 1ª ed. São Paulo: Avercamp.

Gürdür, D., El-khoury, J. & Törngren, M., 2019. Digitalizing Swedish industry: What is next?: Data analytics readiness assessment of Swedish industry, according to survey results. *Computers in Industry*, pp. 153-163.

Hausman, A. & Johnston, W. J., 2014. Timeline of a financial crisis: Introduction to the special issue. *Journal of Business Research*, 67(1), pp. 2667-2670.

Hopkinson, P., De Angelis, R. & Zils, M., 2020. Systemic building blocks for creating and capturing value from circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 155.

Ibn-Mohammed, T. et al., 2020. A critical review of the impacts of COVID-19 on the global economy and ecosystems and opportunities for circular economy strategies. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 164, pp. 105-169.

Instituto Nacional de Estatística, 2020a. *Instituto Nacional de Estatística: Base de dados*. [Online]

Available at:

https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&contecto=pi&indOcorrCod=0005599&selTab=tabo

[Acedido em 11 dezembro 2020].

Instituto Nacional de Estatística, 2020b. *Instituto Nacional de Estatística: ESPECIAL INE COVID-19: Síntese INE@COVID-19, 02 de dezembro de 2020*. [Online]

Available at:

https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaquas&DESTAQUESdestboui=467501482&DESTAQUESmodo=2

[Acedido em 11 dezembro 2020].

Instituto Nacional de Estatística, 2020c. *Instituto Nacional de Estatística: ESPECIAL INE COVI-19: Inquérito Rápido e Excepcional às Empresas – 1.ª quinzena de julho 2020, 29 de julho*. [Online]

Available at:

https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaquas&DESTAQUESdestboui=442426360&DESTAQUESmodo=2

[Acedido em 11 dezembro 2020].

Instituto Nacional de Estatística, 2020d. *COVID-19: acompanhamento do impacto da pandemia nas empresas: Inquérito rápido e excepcional às empresas*. [Online]

Available at:

https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaquas&DESTAQUESdestboui=429164016&DESTAQUESmodo=2

[Acedido em 25 abril 2020].

International Monetary Fund, 2020a. *World Economic Outlook (outubro de 2020): Unemployment rate*. [Online]

Available at:

<https://www.imf.org/external/datamapper/LUR@WEO/USA?zoom=USA&highlight=USA>

[Acedido em 11 dezembro 2020].

International Monetary Fund, 2020b. *International Monetary Fund. World Economic Outlook Reports, Chapter 1*. [Online]

Available at: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/04/14/weo-april-2020>

[Acedido em 26 abril 2020].

Ivanov, D., 2020. Predicting the impacts of epidemic outbreaks on global supply chains : A simulation-based analysis on the coronavirus outbreak. *Transportation Research Part E*, Volume 136, pp. 1-14.

Jansen, C. & Jeschke, S., 2018. Mitigating risks of digitalization through managed industrial security services. *AI and Society*, 33(2), pp. 163-173.

Javaid, M. et al., 2020. Industry 4.0 technologies and their applications in fighting COVID-19 pandemic. *Diabetes and Metabolic Syndrome: Clinical Research and Reviews*, 14(4), pp. 419-422.

Kagermann, H., Wahlster, W. & Helbig, J., 2013. *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Securing the future of German manufacturing industry. Final report of the Industrie 4.0 Working Group. National Academy of Science and Engineering (ACATECH)*. [Online]
Available at: https://en.acatech.de/wp-content/uploads/sites/6/2018/03/Final_report_Industrie_4.0_accessible.pdf
[Acedido em 24 janeiro 2020].

Kim, H., Lin, Y. & Tseng, T. L. B., 2018. A review on quality control in additive manufacturing. *Rapid Prototyping Journal*, 24(3), pp. 645-669.

Klingenberg, C., 2017. *Industry 4.0: what makes it a revolution?*. [Online]
Available at:
https://www.researchgate.net/publication/319127784_Industry_40_what_makes_it_a_revolution
[Acedido em 29 fevereiro 2020].

Kowalkowski, C., Gebauer, H., Kamp, B. & Parry, G., 2017. Servitization and deservitization: Overview, concepts, and definitions. *Industrial Marketing Management*, Volume 60, pp. 4-10.

Kumar, A., Luthra, S., Mangla, S. K. & Kazançoğlu, Y., 2020. COVID-19 impact on sustainable production and operations management. *Sustainable Operations and Computers*, Volume 1, pp. 1-7.

Kusiak, A., 2018. Smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, Volume 56, pp. 508-517.

Lahrou, Y. & Brissaud, D., 2018. A Technical Assessment of Product/Component Re-manufacturability for Additive Remanufacturing. *Procedia CIRP*, Volume 69, pp. 142-147.

Lasi, H. et al., 2014. Industry 4.0. *Business and Information Systems Engineering*, Volume 6, pp. 239-242.

Lee, J. Y., An, J. & Chua, C. K., 2017. Fundamentals and applications of 3D printing for novel materials. *Applied Materials Today*, Volume 7, pp. 120-133.

Lee, S. M. & Trimi, S., 2021. Convergence innovation in the digital age and in the COVID-19 pandemic crisis. *Journal of Business Research*, Volume 123, pp. 14-22.

Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. d. F. R. & Ramos, L. F. P., 2017. Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, Volume 55, pp. 3609-3629.

Liker, J. K. & Morgan, J. M., 2006. The toyota way in services: The case of lean product development. *Academy of Management Perspectives*, 20(2), pp. 5-20.

Li, S., Xu, L. D. & Zhao, S., 2015. The internet of things: a survey. *Information Systems Frontiers*, 17(2), pp. 243-259.

- Li, X. et al., 2020. Intelligent Manufacturing Systems in COVID - 19 Pandemic and Beyond : Framework and Impact Assessment. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 33(58), pp. 1-5.
- Lu, Y., 2017. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, Volume 6, pp. 1-10.
- Macdonald, S. & Headlam, N., 2010. *Research methods handbook: Introductory guide to research methods for social research*. Centre for Local Economic Strategies. Manchester: s.n.
- Madurai Elavarasan, R. & Pugazhendhi, R., 2020. Restructured society and environment: A review on potential technological strategies to control the COVID-19 pandemic. *Science of the Total Environment*, Volume 725.
- Makin, A. J., 2019. Lessons for macroeconomic policy from the Global Financial Crisis. *Economic Analysis and Policy*, Volume 64, pp. 13-25.
- Malik, A. A., Masood, T. & Kousar, R., 2020. Reconfiguring and ramping-up ventilator production in the face of COVID-19: Can robots help?. *Journal of Manufacturing Systems*.
- Mariani, M. & Borghi, M., 2019. Industry 4.0: A bibliometric review of its managerial intellectual structure and potential evolution in the service industries. *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 149, pp. 1-24.
- McKinsey & Company, 2015. *McKinsey & Company: Industry 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector*. [Online]
Available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/industry-four-point-o-how-to-navigae-the-digitization-of-the-manufacturing-sector>
[Acedido em 17 abril 2020].
- Medium Corporation, 2017. *Medium Corporation: Industrial Internet of Things*. [Online]
Available at: https://medium.com/@jaydev_21091/industrial-internet-of-things-74a4ffb44679
[Acedido em 20 abril 2020].
- Meffert, J., Mohr, N. & Gerard, R., 2020. *How the German Mittelstand is mastering the COVID-19 crisis*. *McKinsey Digital*. [Online]
Available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/how-the-german-mittelstand-is-mastering-the-covid-19-crisis>
[Acedido em 24 setembro 2020].
- Mourtzis, D., Doukas, M. & Bernidaki, D., 2014. Simulation in manufacturing: Review and challenges. *Procedia CIRP*, Volume 25, pp. 213-229.
- Nandi, S., Sarkis, J., Hervani, A. A. & Helms, M. M., 2021. Redesigning Supply Chains using Blockchain-Enabled Circular Economy and COVID-19 Experiences. *Sustainable Production and Consumption*, Volume 27, pp. 10-22.
- Osterrieder, P., Budde, L. & Friedli, T., 2020. The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics*, Volume 221.

Özkan, M., Al, A. & Yavuz, S., 2018. The Effects of Fourth Industrial Revolution with respect to International Political Economy and Turkey. *International Journal of Political Science & Urban Studies*, 6(2), pp. 126-156.

Pagliosa, M., Tortorella, G. & Ferreira, J. C. E., 2019. Industry 4.0 and Lean Manufacturing: A systematic literature review and future research directions. *Journal of Manufacturing*.

Paiola, M. & Gebauer, H., 2020. Internet of things technologies, digital servitization and business model innovation in BtoB manufacturing firms. *Industrial Marketing Management*, Volume 89, pp. 245-264.

Papadopoulos, T., Baltas, K. N. & Balta, M. E., 2020. The use of digital technologies by small and medium enterprises during COVID-19: Implications for theory and practice. *International Journal of Information Management*, Volume 55.

Paschou, T., Rapaccini, M., Adrodegari, F. & Saccani, N., 2020. Digital servitization in manufacturing: A systematic literature review and research agenda. *Industrial Marketing Management*, Volume 89, pp. 278-292.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J. & Shitsuka, R., 2018. *Metodologia da Pesquisa Científica*, Santa Maria, RS: UFSM, NTE.

Pérez, F. et al., 2015. A CPPS Architecture approach for Industry 4.0. *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA*, pp. 1-4.

Posada, J. et al., 2015. Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Volume 35, pp. 26-40.

Pratap Singh, R. et al., 2020. Internet of Medical Things (IoMT) for orthopaedic in COVID-19 pandemic: Roles, challenges, and applications. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, 11(4), pp. 713-717.

PwC Portugal, 2016. *PwC "Global Industry 4.0" 1ª edição em Portugal: Indústria 4.0: Construir a empresa digital*. [Online]
Available at: <https://www.pwc.pt/pt/temas-actuais/2016/pwc-industria-40.pdf>
[Acedido em 2020 abril 04].

PwC United States, 2020. *COVID-19: What it means for industrial manufacturing: Practical steps for responding to the coronavirus crisis*. [Online]
Available at: <https://www.pwc.com/us/en/library/covid-19/coronavirus-impacts-industrial-manufacturing.html>
[Acedido em 24 setembro 2020].

Rapaccini, M. et al., 2020. Navigating disruptive crises through service-led growth: The impact of COVID-19 on Italian manufacturing firms. *Industrial Marketing Management*, Volume 88, pp. 225-237.

Rehse, O., Hoffmann, S. & Kosanke, C., 2016. *Taping into the Transformative Power of Service 4.0*. Boston Consulting Group. [Online]
Available at: <https://www.bcg.com/publications/2016/tapping-into-the-transformative-power-of-service-4.aspx>
[Acedido em 2020 abril 2020].

Richter, J. S., Mendis, G. P., Nies, L. & Sutherland, J. W., 2019. A method for economic input-output social impact analysis with application to U.S. advanced manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, Volume 212, pp. 302-312.

Rosa, P. et al., 2020. Assessing relations between Circular Economy and Industry 4.0: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 58(6), pp. 1662-1687.

Rudnitsky, R. G. et al., 2019. *Manufacturing USA annual report 2018 (NO 190908)*. National Institute of Standards and Technology.. [Online]
Available at: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ams/NIST.AMS.600-5.pdf>
[Acedido em 30 março 2020].

Rübmann, M. et al., 2015. *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. The Boston Consulting Group. [Online]
Available at: https://image-src.bcg.com/Images/Industry_40_Future_of_Productivity_April_2015_tcm9-61694.pdf
[Acedido em 24 novembro 2019].

Santos, B., Alberto, A., Miranda Lima, T. & Charrua Santos, F., 2018. INDÚSTRIA 4.0: DESAFIOS E OPORTUNIDADES. *Revista Produção e Desenvolvimento*, Volume 4, pp. 111-124.

Sarkis, J., Cohen, M. J., Dewick, P. & Schröder, P., 2020. A brave new world: Lessons from the COVID-19 pandemic for transitioning to sustainable supply and production. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 159.

Saunders, M., Lewis, P. & Thornhill, A., 2016. Formulating the research design. Em: *Research Methods for Business Students*. 7^a ed. Inglaterra: Pearson Education Limited, p. 741.

Schuh, G. et al., 2017. *Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies*. National Academy of Science and Engineering (Acatech Study). [Online]
Available at: <https://en.acatech.de/publication/industrie-4-0-maturity-index-managing-the-digital-transformation-of-companies/>
[Acedido em 26 maio 2020].

Schwab, K., 2016. *A Quarta Revolução Industrial*. 1^a ed. São Paulo: Edipro.

Seetharaman, P., 2020. Business models shifts: Impact of Covid-19. *International Journal of Information Management*, Volume 54, pp. 1-4.

Segovia, D., Mendoza, M., Mendoza, E. & González, E., 2015. Augmented Reality as a Tool for Production and Quality Monitoring. *Procedia Computer Science*, Volume 75, pp. 291-300.

Sengyee, L., 2020. *How China's industrial internet is fighting COVID-19*. *World Economic Forum*.. [Online]
Available at: <https://www.weforum.org/agenda/2020/04/china-covid-19-digital-response/>
[Acedido em 26 setembro 2020].

Shibata, I., 2020. *IMF Working Paper: The Distributional Impact of Recessions: the Global Financial Crisis and the Pandemic Recession (WP/20/96)*. *International*

Monetary Fund. [Online]
Available at: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2020/06/19/The-Distributional-Impact-of-Recessions-the-Global-Financial-Crisis-and-the-Pandemic-49492>
[Acedido em 11 outubro 2020].

Shokrani, A., Loukaides, E. G., Elias, E. & Lunt, A. J., 2020. Exploration of alternative supply chains and distributed manufacturing in response to COVID-19; a case study of medical face shields. *Materials and Design*, Volume 192.

Ślusarczyk, B., 2018. Industry 4.0 – Are we ready?. *Polish Journal of Management Studies*, Volume 17, pp. 232-248.

Smit, J., Kreutzer, S., Moeller, C. & Carlberg, M., 2016. *DIRECTORATE GENERAL FOR INTERNAL POLICIES: POLICY DEPARTMENT A: ECONOMIC AND SCIENTIFIC POLICY: Industry 4.0*. [Online]
Available at:
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL_STU\(2016\)570007_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL_STU(2016)570007_EN.pdf)
[Acedido em 27 abril 2020].

Sony, M. & Naik, S., 2019. Critical factors for the successful implementation of Industry 4.0: a review and future research direction. *Production Planning & Control*, pp. 1-17.

Su, B., Heshmati, A., Geng, Y. & Yu, X., 2013. A review of the circular economy in China: Moving from rhetoric to implementation. *Journal of Cleaner Production*, Volume 42, pp. 215-227.

Tofail, S. A. et al., 2018. Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. *Materials Today*, 21(1), pp. 22-37.

Tonelli, F., Demartini, M., Loleo, A. & Testa, C., 2016. A Novel Methodology for Manufacturing Firms Value Modeling and Mapping to Improve Operational Performance in the Industry 4.0 Era. *Procedia CIRP*, Volume 57, pp. 122-127.

Tortorella, G. L. & Fettermann, D., 2018. Implementation of industry 4.0 and lean production in brazilian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 56(8), pp. 2975-2987.

Treiblmaier, H., 2019. Combining Blockchain Technology and the Physical Internet to Achieve Triple Bottom Line Sustainability : A Comprehensive Research Agenda for Modern. *MDPI Journal*, 3(10), pp. 1-13.

Vaishya, R., Haleem, A., Vaish, A. & Javaid, M., 2020. Emerging Technologies to Combat the COVID-19 Pandemic. *Journal of Clinical and Experimental Hepatology*, 10(4), pp. 409-411.

Wang, J., Wu, H. & Chen, Y., 2020. Made in China 2025 and manufacturing strategy decisions with reverse QFD. *International Journal of Production Economics*, Volume 224.

Wang, S., Wan, J., Li, D. & Zhang, C., 2016. Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Volume 2016, pp. 1-10.

Werner-Lewandowska, K. & Kosacka-Olejniki, M., 2019. Logistics 4.0 Maturity in Service Industry: Empirical Research Results. *Procedia Manufacturing*, Volume 38, pp. 1058-1065.

World Health Organization, 2020a. *World Health Organization: Coronavirus disease: Strategies, plans and operations*. [Online]
Available at: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/strategies-plans-and-operations>
[Acedido em 25 abril 2020].

World Health Organization, 2020b. *World Health Organization: Q&A on coronaviruses (COVID-19)*. [Online]
Available at: <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/q-a-coronaviruses>
[Acedido em 25 abril 2020].

World Health Organization, 2020c. *World Health Organization: Coronavirus disease (COVID-19) Pandemic*. [Online]
Available at: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>
[Acedido em 27 abril 2020].

World Health Organization, 2020d. *World Health Organization: WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard*. [Online]
Available at: <https://covid19.who.int/>
[Acedido em 11 dezembro 2020].

Xu, L. D., Xu, E. L. & Li, L., 2018. Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, Volume 56, pp. 2941-2962.

Zenglein, M. J. & Holzmann, A., 2019. *Evolving Made in China 2025: China's industrial policy in the quest for global tech leadership (no 8)*. Mercator Institute for China Studies. [Online]
Available at: https://merics.org/sites/default/files/2020-04/MPOC_8_MadeinChina_2025_final_3.pdf
[Acedido em 31 março 2020].

Zhao, J., Ji, M. & Feng, B., 2020. Smarter supply chain : a literature review and practices. *Journal of Data, Information and Management*, Volume 2, pp. 95-110.

Anexos

Tabela 9 - Os processos de Fabricação Aditiva, a sua aplicação, vantagens e desvantagens, adaptado de Tofail et al., (2018)

Processos de Fabricação Aditiva	Modo de aplicação	Tecnologia utilizada	Vantagens	Desvantagens	Materiais	Volume de construção (milímetros)
Binder Jetting	Um ligante líquido é depositado para unir as partículas de pó, construindo várias camadas finas que posteriormente formam o objeto	- Tecnologia 3D de jato de tinta	- Sem necessidade de assistência contínua - Grande variedade de <i>designs</i> - Alta velocidade de impressão - Custo relativamente baixo	- Peças frágeis e com baixas propriedades mecânicas - Pode precisar de processamentos posteriores	- Polímeros - Cerâmica - Metais - Híbridos - Compósitos	X= <4000 Y= <2000 Z= <1000
Directed Energy Deposition	Aplica energia térmica para derreter os materiais	- Deposição por laser - “ <i>Laser Engineered NetShaping</i> ” (LENS) - Feixe de elétrons - Derretimento por arco de plasma	- Elevado controlo da estrutura - Peças de elevada qualidade - Excelente capacidade para reparações	- A qualidade que as superfícies de trabalho requerem limitam a velocidade - Apenas podem ser usados em bases metálicas ou híbridas	- Metais - Híbridos	X= 600-3000 Y= 500-3500 Z= 350-5000
Material Extrusion	O material é aquecido e expelido por um bico extrusor através de filamentos contínuos	- <i>Fused Deposition Modelling</i> (FDM) - <i>Fused Filament Fabrication</i> (FFF) - <i>Fused Layer Modelling</i> (FLM)	- Uso generalizado - Escalabilidade - Baixo custo - Capacidade de construir peças totalmente funcionais	- Anisotropia vertical - Superfície estruturada por degraus - Não tem capacidade de atingir grandes detalhes	- Polímeros - Compósitos	X= <900 Y= <600 Z= <900
Material Jetting	Gotas de polímeros líquidos que são solidificadas por raios UV	- Tecnologia 3D de jato de tinta - <i>Direct Ink Writing</i>	- Deposição por gotículas de alta precisão - Desperdício reduzido - Fabricação de várias peças/materiais - Várias cores	- Necessidade de uma assistência constante - Requer fotopolímeros e resinas para endurecer e acelerar o fabrico da peça	- Polímeros - Cerâmica - Híbridos - Compósitos - Biológicos	X= <300 Y= <200 Z= <200

Powder Bed Fusion	Aplica energia térmica para fundir pequenas regiões de uma cama de pó e construir o material	<ul style="list-style-type: none"> - Derretimento por feixe de elétrons - Sinterização a laser direto no metal - Sinterização/Fusão a laser seletivo 	<ul style="list-style-type: none"> - Custo médio-baixo - Equipamento de pequenas dimensões - Sistema integrado numa estrutura - Fabricação de vários tipos de peças/materiais 	<ul style="list-style-type: none"> - Baixa velocidade de impressão - Limitações nas dimensões - Requer alta potência energética - O acabamento depende das reações químicas e da qualidade do pó utilizado 	<ul style="list-style-type: none"> - Metais - Cerâmicas - Compósitos - Polímeros - Híbridos 	<p>X= 200-300 Y= 200-300 Z= 200-350</p>
Sheet Lamination	As folhas de material são empilhadas por diversos métodos, depois de criado o objeto é recortado as partes indesejadas camada por camada	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricação de objetos laminados - Consolidação Ultrassônica 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta velocidade de impressão - Baixo custo - Facilidade de manuseio do material 	<ul style="list-style-type: none"> - Resistência das peças depende do adesivo utilizado - Acabamentos podem precisar de um processamento posterior - Limite de material 	<ul style="list-style-type: none"> - Polímeros - Metais - Cerâmica - Híbridos 	<p>X= 150-250 Y= 200 Z= 100-150</p>
Vat Photo Polymerization	Foto polímero líquido é endurecido através da polimerização ativada por luz	<ul style="list-style-type: none"> - Estereolitografia - Processamento por luz digital 	<ul style="list-style-type: none"> - Peças grandes - Boa precisão - Bons acabamentos 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso limitado a foto polímeros - Baixas propriedades mecânicas - Precursores caros - Processo de construção lento 	<ul style="list-style-type: none"> - Polímeros - Cerâmica 	<p>X= <2100 Y= <700 Z= <800</p>