



ANA LUÍSA GOMES BALTAZAR

Licenciada em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

EDUCAÇÃO 4.0: DESAFIOS E OPORTUNIDADES

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

Universidade NOVA de Lisboa
Setembro, 2021

EDUCAÇÃO 4.0: Desafios e oportunidades

ANA LUÍSA GOMES BALTAZAR

Licenciada em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Professora Doutora Maria do Rosário de Meireles Ferreira Cabrita,
Professora Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof.^a Doutora Ana Sofia Leonardo Vilela de Matos,
Professora Associada, FCT-NOVA

Arguentes: Prof. Doutor Rogério Salema Araújo Puga Leal,
Professor Associado, FCT-NOVA

Orientador: Professora Doutora Maria do Rosário de Meireles
Ferreira Cabrita,
Professora Auxiliar, FCT-NOVA

Educação 4.0: Desafios e Oportunidades

Copyright © < Ana Luísa Gomes Baltazar >, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Como agradecimento a todas as pessoas que fizeram desta etapa melhor:

A todos os docentes do Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

À professora Maria do Rosário Cabrita, orientadora desta dissertação, pela disponibilidade e orientação. Aos meus pais, por acreditarem em mim, e por me darem a liberdade e o tempo para descobrir as minhas ambições.

Um agradecimento muito especial aos meus avós, pelo exemplo marcante de esforço, força, perseverança e trabalho.

E finalmente, mas não menos importante, aos grandes amigos que fiz na faculdade por tornarem os anos de faculdade ainda mais valiosos. A todos os meus amigos, que melhorando a minha vida de alguma forma, me ajudaram nesta etapa.

A todos, um grande e sincero obrigada!

“The illiterate of the 21st century will not be those who cannot read and write, but those who cannot learn, unlearn, and relearn” – Alvin Toffler (1970)

Resumo

Apesar de as revoluções industriais anteriores terem criado uma mudança social significativa, a 4ª Revolução Industrial é ímpar, quer no que toca à velocidade à qual as ideias e tecnologias se propagam, quer pelo potencial para fomentar oportunidades económicas e sociais através de uma mudança de paradigma em relação à organização do trabalho, modelos de negócio e tecnologia de produção. No entanto, esta mudança traz consigo a dificuldade de preencher vagas de trabalho, desequilíbrios no mercado e, por isso, a necessidade de qualificar os trabalhadores de forma que as suas competências acompanhem as necessidades do mercado.

A presente dissertação procura, a partir do estudo do estado da arte, explorar as competências necessárias aos desafios educacionais colocados pela Indústria 4.0, evoluindo para a conceção de um modelo educacional sustentável, onde a experiência de aprendizagem se baseia em pilares teórico-tecnológicos. O estudo demonstra que, para viabilizar a Educação 4.0 como resposta natural à Indústria 4.0, é necessário adotar metodologias que estimulem a aprendizagem, a descoberta, o trabalho em equipa, primando pelo desenvolvimento de competências valorizadas no modelo de sociedade atual.

Este trabalho resulta num estudo preliminar à temática, ainda em desenvolvimento, e pretende fomentar a reflexão sobre as questões em investigação, servir de base para desenvolvimento empírico do tema, e dar uma proposta das principais frentes de mudança que devem ser foco no desenvolvimento de um novo modelo educacional.

Palavas chave: Indústria 4.0; Quarta Revolução Industrial; Educação 4.0; Fábrica inteligente; Futuro das competências; Competências da força de trabalho; Transformação digital

Abstract

Although the first three Industrial Revolutions created a significant social change, the transformation that is currently taking place is unique in what comes to the speed at which new ideas and technologies are proliferating. The 4th Industrial Revolution has enormous potential to foster economic and social opportunities through a paradigm shift regarding work organization, business models and production technology. However, this paradigm shift brings with it the challenge of filling jobs, imbalances in the labor market and, therefore, the need to qualify the current and future workforces so that their skills are aligned with the market needs. To do so, it is necessary to explore and develop a new educational model - Education 4.0 - that responds to these needs, enabling the workforce with the requirements of the Industry 4.0.

Through the study of the state of the art, this research seeks to explore the skills necessary for the educational challenges posed by Industry 4.0, evolving towards the design of a sustainable educational model, where the learning experience is based on theoretical and technological pillars. The study shows that, in order to make Education 4.0 viable as a natural response to Industry 4.0, it is necessary to adopt methodologies that encourage learning, discovery and teamwork, prioritizing the development of skills valued in the current model of society.

This work results in a preliminary study about this subject under development, and it intends to encourage a reflection on the issues under investigation, to serve as a basis for a future empirical development of the subject, and to provide a proposal of the main fronts of change that should be the focus when developing a new educational model based on Industry 4.0 needs.

Keywords: Industry 4.0; Forth Industrial Revolution; Education 4.0; Smart factory; Future of skills, Workforce skills; Digital transformation,

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO.....	1
1.2 OBJETIVOS DE INVESTIGAÇÃO	2
1.3 QUESTÕES DE INVESTIGAÇÃO	2
1.4 METODOLOGIA.....	2
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	3
2. INDÚSTRIA 4.0.....	5
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA	5
2.2 COMPREENDER A INDÚSTRIA 4.0: CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	7
2.2.1 <i>Os pilares tecnológicos.....</i>	<i>8</i>
2.2.1.1. <i>Internet of Things.....</i>	<i>10</i>
2.2.1.2. <i>Big Data</i>	<i>11</i>
2.2.1.3. <i>Cloud Computing</i>	<i>12</i>
2.2.1.4. <i>Realidade Aumentada</i>	<i>12</i>
2.2.1.5. <i>Simulação.....</i>	<i>14</i>
2.2.1.6. <i>Additive Manufacturing</i>	<i>14</i>
2.2.1.7. <i>Integração Horizontal e Vertical do Sistema.....</i>	<i>16</i>
2.2.1.8. <i>Robots autónomos.....</i>	<i>17</i>
2.2.1.9. <i>Cibersegurança</i>	<i>19</i>
2.2.2 <i>Princípios de Design subjacentes à Indústria 4.0</i>	<i>20</i>
2.2.2.1. <i>Interoperabilidade.....</i>	<i>20</i>
2.2.2.2. <i>Virtualização.....</i>	<i>21</i>
2.2.2.3. <i>Descentralização.....</i>	<i>21</i>
2.2.2.4. <i>Capacidade em tempo-real</i>	<i>21</i>
2.2.2.5. <i>Modularidade</i>	<i>21</i>
2.2.2.6. <i>Orientação para serviços.....</i>	<i>21</i>
2.2.3 <i>Impactos da Indústria 4.0</i>	<i>21</i>
2.2.4 <i>Implementação.....</i>	<i>23</i>
2.2.5 <i>Barreiras à implementação.....</i>	<i>25</i>
2.3 A FÁBRICA INTELIGENTE	26
2.3.1 <i>Lacunas entre os sistemas de produção tradicional e a Fábrica Inteligente.....</i>	<i>29</i>
2.3.2 <i>Melhorias necessárias para alcançar o potencial da fábrica inteligente.....</i>	<i>31</i>
2.4 ESTADO DE PREPARAÇÃO MUNDIAL PARA O FUTURO DA PRODUÇÃO	33
2.5 POSICIONAMENTO DE PORTUGAL: INDÚSTRIA 4.0, COMPETITIVIDADE E DIGITALIZAÇÃO	35
2.6 INICIATIVAS INSTITUCIONAIS E GOVERNAMENTAIS	39
2.6.1 <i>Iniciativas</i>	<i>39</i>
2.6.2 <i>Iniciativas em Portugal.....</i>	<i>40</i>
3. FUTURO DO TRABALHO E DAS COMPETÊNCIAS.....	43
3.1 CONTEXTO.....	43
3.2 FATORES IMPULSIONADORES DA MUDANÇA.....	44
3.3 FUTURO DO TRABALHO	46
3.3.1 <i>Evolução do tipo de trabalho e necessidade de reestruturação</i>	<i>46</i>
3.3.2 <i>Cooperação homem-máquina e potencial da automação.....</i>	<i>47</i>
3.4 FUTURO DAS COMPETÊNCIAS.....	51
3.4.1 <i>Lacunas nas competências e escassez de talento.....</i>	<i>51</i>
3.4.2 <i>Desequilíbrios no mercado de trabalho</i>	<i>54</i>
3.4.3 <i>Competências, conhecimento e capacidades: comparação entre Portugal e a OCDE.....</i>	<i>56</i>
3.4.4 <i>Importância da antecipação das competências necessárias para o futuro do trabalho</i>	<i>59</i>
3.4.5 <i>Competências necessárias para o futuro do trabalho</i>	<i>60</i>

4.	EDUCAÇÃO 4.0: CONTRIBUIÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO EDUCACIONAL	67
4.1	CONTEXTO.....	67
4.2	EVOLUÇÃO EDUCACIONAL: DA EDUCAÇÃO 1.0 À EDUCAÇÃO 3.0.....	67
4.3	EDUCAÇÃO 4.0	68
	4.3.1 <i>Papel dos principais stakeholders</i>	69
	4.3.1.1. Aluno	69
	4.3.1.2. Professor	71
	4.3.1.3. Universidade	72
	4.3.1.4. Governo	72
	4.3.2 <i>Ambiente de aprendizagem: Sala de aula 4.0</i>	73
	4.3.3 <i>Métodos de avaliação</i>	74
4.4	INFLUÊNCIA DA PANDEMIA COVID-19 NA EDUCAÇÃO SUPERIOR	77
4.5	EDUCAÇÃO 4.0: ANÁLISE SWOT.....	78
5.	CONCLUSÕES	85
5.1	CONCLUSÕES DO ESTUDO	85
5.2	LIMITAÇÕES DO ESTUDO E VIAS DE INVESTIGAÇÃO FUTURA	90
5.3	CONTRIBUIÇÕES PARA A TEORIA	91
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93

Índice de Figuras

FIGURA 1.1 - METODOLOGIA DA INVESTIGAÇÃO.....	3
FIGURA 2.1 - EVOLUÇÃO CRONOLÓGICA DAS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS E RESPECTIVA COMPLEXIDADE TECNOLÓGICA	6
FIGURA 2.2 - PILARES TECNOLÓGICOS DA INDÚSTRIA 4.0.....	10
FIGURA 2.3 - VALOR DA REALIDADE AUMENTADA INDUSTRIAL NA I4.0	13
FIGURA 2.4 - INTEGRAÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL	16
FIGURA 2.5 - TIPOS DE INTEGRAÇÃO E A SUA RELAÇÃO	17
FIGURA 2.6 - NÍVEIS DE FLEXIBILIDADE E AUTOMAÇÃO DA PRODUÇÃO TRADICIONAL E DA PRODUÇÃO FUTURA	18
FIGURA 2.7 - OS TRÊS HORIZONTES DA INDÚSTRIA 4.0	24
FIGURA 2.8 - <i>FRAMEWORK</i> CONCEPTUAL PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0	25
FIGURA 2.9 - INDÚSTRIA 4.0 E AS FÁBRICAS INTELIGENTES COMO PARTE DA IoT E IOS.....	27
FIGURA 2.10 - LACUNAS ENTRE OS SISTEMAS DE PRODUÇÃO TRADICIONAIS E A INDÚSTRIA 4.0.....	31
FIGURA 2.11 - <i>FRAMEWORK</i> MODELO DE PREPARAÇÃO PARA A INDÚSTRIA 4.0	33
FIGURA 2.12 - QUADRANTES DEFINIDOS PARA CONSTRUIR O MAPA GLOBAL DE PREPARAÇÃO PARA A INDÚSTRIA 4.0	34
FIGURA 2.13 - MAPA GLOBAL DE PREPARAÇÃO PARA A INDÚSTRIA 4.0.....	34
FIGURA 2.14 - PAÍSES COM RECURSO A ALTA QUALIFICAÇÃO E TECNOLOGIA AVANÇADA	36
FIGURA 2.15 - FIGURA 2.16 - VISÃO GERAL DE DESEMPENHO DE PORTUGAL EM 2018	37
FIGURA 2.16 - CLASSIFICAÇÃO DO DESI (DIGITAL ECONOMY AND SOCIETY INDEX) DE 2020	38
FIGURA 2.17 - EVOLUÇÃO DO DESI EM PORTUGAL (2015-2020).....	38
FIGURA 2.18 - COMPARAÇÃO DA COMPONENTE CAPITAL HUMANO (PORTUGAL VS UE).....	39
FIGURA 3.1 - EVOLUÇÃO DOS TIPOS DE TRABALHO.....	47
FIGURA 3.2 - EVOLUÇÃO DA COLABORAÇÃO HOMEM-MÁQUINA (2018 VS. 2022)	48
FIGURA 3.3 - ESCASSEZ DE TALENTO A NÍVEL GLOBAL (2006-2018)	52
FIGURA 3.4 - PRINCIPAIS FATORES QUE LEVAM À ESCASSEZ DE TALENTO (GLOBAIS E EM PORTUGAL)	53
FIGURA 3.5 - PERCENTAGEM DE EMPREGOS COM ALTA PROCURA POR NÍVEL DE QUALIFICAÇÃO	54
FIGURA 3.6 - CORRELAÇÃO ENTRE A QUALIDADE DO SISTEMA EDUCATIVO, AS COMPETÊNCIAS E A PRODUTIVIDADE COM O DESEQUILÍBRIO DO MERCADO DE TRABALHO	55
FIGURA 3.7 - COMPETÊNCIAS: COMPARAÇÃO ENTRE PORTUGAL E A MÉDIA DA OCDE (OCDE, 2018)	57
FIGURA 3.8 – ÁREAS DE CONHECIMENTO: COMPARAÇÃO ENTRE PORTUGAL E A MÉDIA DA OCDE (OCDE, 2018)	57
FIGURA 3.9 - CAPACIDADES: COMPARAÇÃO ENTRE PORTUGAL E A MÉDIA DA OCDE.....	58
FIGURA 3.10 - TIPO DE QUALIFICAÇÃO DOS TRABALHOS COM ALTA PROCURA.....	58
FIGURA 3.11 - CICLO DE MUDANÇA NA PROCURA DE COMPETÊNCIAS E CICLO DE FORMAÇÃO	60
FIGURA 3.12 - MUDANÇAS NO TRABALHO E NAS COMPETÊNCIAS.....	61
FIGURA 3.13 - "CAUDA LONGA" DAS COMPETÊNCIAS	62
FIGURA 3.14 - EVOLUÇÃO DO MODELO DE COMPETÊNCIAS	63
FIGURA 4.1 - DESCRIÇÃO DO ALUNO NO CONTEXTO DA EDUCAÇÃO 4.0	70
FIGURA 4.2 - MODELO CONCEPTUAL DO ECOSISTEMA EDUCACIONAL DE APRENDIZAGEM (NAYAR & KOUL, 2020)	76
FIGURA 4.3 - IMPACTO DA PANDEMIA NA TRANSFORMAÇÃO DO ENSINO SUPERIOR.....	77
FIGURA 4.4 - EDUCAÇÃO 4.0: ANÁLISE SWOT.....	83

Índice de Tabelas

TABELA 2.1 - PRINCÍPIOS DE <i>DESIGN</i> DA INDÚSTRIA 4.0 PARA OS PRINCIPAIS COMPONENTES DA INDÚSTRIA 4.0	20
TABELA 2.2 - IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0 NO FUTURO DA PRODUÇÃO	22
TABELA 2.3 - BARREIRAS À IMPLEMENTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0	26
TABELA 2.4 – EXEMPLOS DE PROCESSOS NO CONTEXTO DA FÁBRICA INTELIGENTE.....	29
TABELA 2.5 - COMPARAÇÃO ENTRE O SISTEMA DE PRODUÇÃO TRADICIONAL E A FÁBRICA INTELIGENTE	30
TABELA 2.6 - MELHORIAS NA ESTRUTURA, DIGITALIZAÇÃO E NOS PROCESSOS, PARA ALCANÇAR A FÁBRICA INTELIGENTE.....	32
TABELA 2.7 - ANÁLISE DOS <i>RANKINGS</i> DE COMPETITIVIDADE (1º LUGAR VS PORTUGAL)	35
TABELA 2.8 - INICIATIVAS EUROPEIAS PARA DIGITALIZAR A INDÚSTRIA.....	39
TABELA 3.1 - FATORES IMPULSIONADORES DA MUDANÇA	44
TABELA 3.2 - POTENCIAL DE AUTOMAÇÃO POR TIPO DE ATIVIDADE.....	49
TABELA 3.3 - POTENCIAL DE AUTOMAÇÃO POR SETOR	50
TABELA 3.4 - TOP 15 COMPETÊNCIAS PARA 2025.....	66
TABELA 4.1 - DIMENSÕES DO PROCESSO EDUCACIONAL	69

Simbologias e Siglas

TI	Tecnologias de Informação
IoT	Internet of Things
IoS	Internet of Services
BD	Big Data
CC	Cloud Computing
RA	Realidade Aumentada
RAI	Realidade Aumentada Industrial
RV	Realidade Virtual
AD	Additive Manufacturing
RA	Robots Autónomos
CPS	Cyber-Physical System
CPPS	Cyber-Physical Production Systems
WIP	Work In Process
IA	Inteligência Artificial
WEF	World Economic Forum
IDES	Índice de Digitalidade da Economia e da Sociedade
UE	União Europeia
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
QE	Quociente Emocional

1. Introdução

O Capítulo 1 apresenta o contexto no qual esta dissertação se insere, abordando o contexto tecnológico e social da temática. São também abordadas as principais razões por detrás do desenvolvimento da presente dissertação, os seus objetivos e as questões de investigação a ser respondidas. É ainda descrita a metodologia e a estrutura seguidas ao longo da dissertação.

1.1 Enquadramento

A atualidade vive tempos de grande mudança a nível tecnológico e o ritmo e o alcance dos avanços científicos e tecnológicos provenientes de centros de investigação, *start-ups* e grandes organizações tem vindo a aumentar. Para além de nos fornecerem novos recursos, estes avanços tecnológicos estão a mudar a forma como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos (Schwab, 2016).

Apesar de as primeiras três revoluções industriais terem criado uma mudança social significativa, a transformação que está a acontecer atualmente é ímpar no que toca à velocidade à qual as novas ideias e tecnologias se estão a propagar (Schwab, 2016). Nos últimos anos, a indústria enfrentou desafios substanciais a nível económico devido à diminuição da disponibilidade de recursos naturais, à existência de catástrofes naturais, ao aumento dos preços da energia, ao aumento da idade dos trabalhadores e à globalização dos mercados. Para além disso, a exigência dos consumidores tem vindo a aumentar no que toca à inovação dos produtos e serviços, à variedade dos produtos, aos padrões de qualidade, aos serviços de apoio ao cliente, entre outros (Erol, Schumacher, & Sihn, 2016). Assim, empresas de todo o tipo de indústria veem-se forçadas a repensar a forma tradicional de fazer negócio de forma a manter o ritmo do meio tecnológico em constante mudança e a responder às expectativas dos consumidores, tornando-se capazes de gerir toda a cadeia de valor de uma forma responsável e ágil. Também as instituições, os governos, os sistemas de educação, sistemas de saúde, de transportes, e outros, começam a ser repensados e reestruturados; e sendo estes os principais *stakeholders* da sociedade global, têm a responsabilidade de trabalhar em conjunto de forma a compreender e levar adiante estas tecnologias emergentes (Schwab, 2016). Torna-se assim relevante estudar o papel, os desafios e as oportunidades desta que é referida como a quarta revolução industrial ou Indústria 4.0, e que tal como as três revoluções anteriores promete transformar a forma como vivemos (Maynard, 2015), abordando as consequências desta revolução no trabalho e na necessidade de qualificar e requalificar a força de trabalho, e o papel de um novo modelo educacional que dê resposta a estes desafios – a Educação 4.0.

1.2 Objetivos de investigação

A presente dissertação surge com o objetivo de fornecer informação relevante e contribuir para o aprofundamento do conhecimento no âmbito do futuro do trabalho, do futuro das competências e da consequente necessidade de fomentar a qualificação da força de trabalho através do desenvolvimento de competências adequadas às necessidades atuais e futuras do mercado por meio da reestruturação do modelo de educação atual para um modelo sustentado no paradigma da Educação 4.0. Assim, este trabalho pretende aprofundar o entendimento sobre a Educação 4.0 no contexto da 4ª Revolução Industrial, as razões que o tornam necessário, as principais mudanças necessárias para a sua implementação e os desafios e oportunidades que são levantados. Esta dissertação poderá constituir uma base bibliográfica para as vias de investigação futuras, onde se poderão desenvolver estudos empíricos baseados nas questões aqui abordadas.

1.3 Questões de investigação

No sentido de contribuir para a investigação e conhecimento no âmbito da Indústria 4.0 e da Educação 4.0, com a presente dissertação pretende-se dar resposta às seguintes questões de investigação:

- Quais as principais competências necessárias para dar resposta às necessidades do mercado de trabalho no contexto da Indústria 4.0?
- Quais os principais pilares que sustentam a evolução para o modelo da Educação 4.0 e quais as principais mudanças necessárias em cada um deles?
- Que oportunidades e que desafios se levantam na atualidade a um novo modelo de educação sustentado pelos princípios da Educação 4.0 e que acomode os desafios levantados pela 4ª Revolução Industrial?

1.4 Metodologia

A presente dissertação seguiu uma metodologia que pode ser segmentada em seis passos, como é ilustrado na Figura 1.1. Em primeiro lugar foi efetuado um enquadramento ao âmbito da dissertação. Em segundo lugar foram definidos os objetivos da investigação a realizar e as questões de investigação a responder no âmbito da investigação. De seguida, tendo em conta os objetivos e as questões de investigação, foi feita uma revisão de literatura de forma a enquadrar e a sustentar a investigação, dando contexto sobre a evolução tecnológica, as revoluções industriais e os pilares nos quais se sustenta a temática central da dissertação. Tendo isso em conta, a investigação por via de revisão de literatura centrou-se no futuro do trabalho, no futuro das competências e por fim, na Educação 4.0 de forma a compreender o tema e a dar resposta às duas primeiras questões de investigação da dissertação. De seguida, foi feito um levantamento das

forças, fraquezas, oportunidades e ameaças relacionadas com a Educação 4.0 e foi elaborada uma análise SWOT como possível meio de planeamento estratégico para a implementação da Educação 4.0. Na fase final do trabalho, foram tiradas conclusões da investigação e dada resposta às questões de investigação, e finalmente foi feita uma reflexão crítica do trabalho desenvolvido, estabelecendo as limitações do estudo, contribuições para a teoria e definindo as possíveis vias de investigação futura.

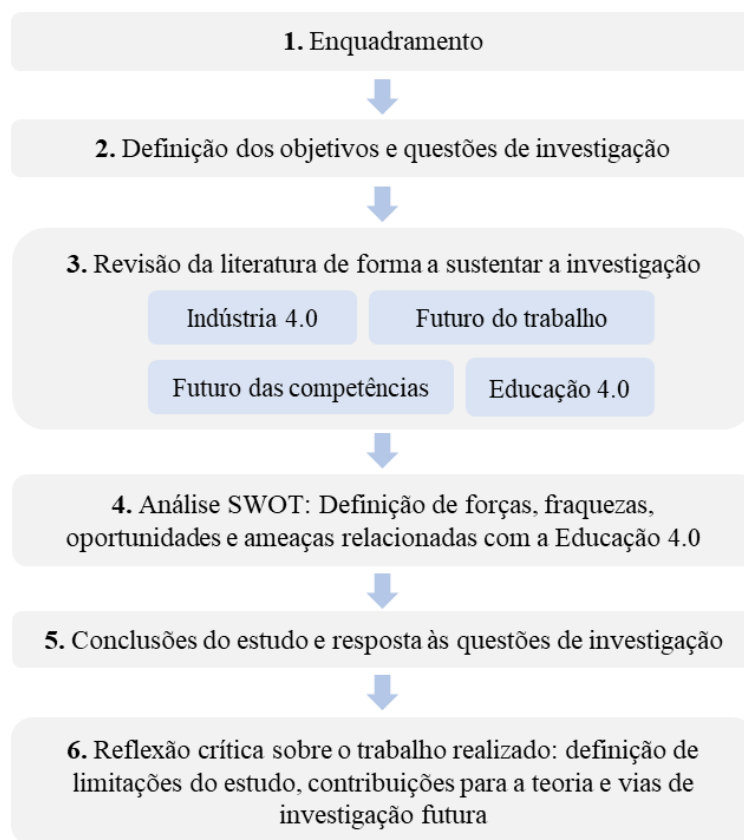


Figura 1.1 - Metodologia da investigação

1.5 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos, caracterizados de seguida.

O primeiro capítulo – Introdução, é dedicado ao enquadramento do tema estudado na dissertação, definição dos objetivos de investigação, das questões de investigação a responder, da metodologia utilizada e à forma como a dissertação se encontra estruturada.

O segundo capítulo pretende, através de revisão de literatura, enquadrar o tema no qual a presente dissertação é sustentada - Indústria 4.0. Este capítulo faz uma contextualização histórica às revoluções industriais, uma análise aos pilares tecnológicos, princípios de design, aos possíveis impactos da Indústria 4.0, implementação e potenciais barreiras à mesma. É abordada a temática da fábrica inteligente e a lacuna existente entre os sistemas de produção atuais e a produção do futuro. O capítulo é fechado com uma análise ao estado de preparação mundial para o futuro da

produção, como se posiciona Portugal, e algumas iniciativas institucionais e governamentais em curso neste âmbito.

O terceiro capítulo aborda o futuro do trabalho e das competências, e pretende analisar quais são os fatores impulsionadores da mudança, como se prevê a evolução dos tipos de trabalho, a cooperação homem-máquina e o potencial de automação como consequência da implementação da Indústria 4.0. Decorrente das alterações ao trabalho, surge a abordagem à lacuna criada entre as competências procuradas pelo mercado e as oferecidas pela força de trabalho, os desequilíbrios resultantes desta lacuna, e as competências que se esperam ser necessárias para o futuro do trabalho.

O quarto capítulo surge como resposta às problemáticas levantadas nos capítulos anteriores, e pretende estudar a possível resposta às mesmas – a Educação 4.0. Faz-se a contextualização histórica da evolução dos modelos de educação, e um estudo da literatura mais aprofundado sobre como é que os modelos de educação se podem adaptar a fim de preparar a futura força de trabalho para as necessidades presentes e futuras do mercado de trabalho no contexto da Indústria 4.0. É abordado o papel dos principais *stakeholders*, o ambiente de aprendizagem, a evolução dos métodos de avaliação e a forma como a Pandemia Covid-19 se tornou um fator catalisador desta evolução. No fecho do capítulo, faz-se uma análise SWOT centrada nas forças, fraquezas, oportunidades e ameaças criadas pelo paradigma da Educação 4.0, fatores estes que devem ser tidos em conta no planeamento estratégico da possível implementação deste método.

Finalmente, no quinto e último capítulo – Conclusões, são apresentadas as conclusões do estudo, as limitações do mesmo, as contribuições para a teoria e as vias de investigação futura.

2. Indústria 4.0

No presente capítulo é feita uma revisão de literatura relacionada com o tema da dissertação e contextualiza-se a temática de forma a entender a evolução das revoluções industriais e as mudanças a que conduziram. Abordam-se os principais pilares tecnológicos da Indústria 4.0, introduzindo conceitos fundamentais. São também tratadas as lacunas existentes entre o sistema de produção atual e a Fábrica Inteligente, e as melhorias necessárias para atingir o seu potencial. No sentido de perceber de que forma é que a visão futura para esta revolução pode influenciar tanto a indústria da produção como a qualidade de vida global, são abordados os potenciais impactos deste paradigma. Por fim, aborda-se o estado de preparação mundial para esta revolução, o posicionamento de Portugal e algumas iniciativas existentes.

2.1 Contextualização histórica

Apesar de ainda não se ter chegado a um acordo sobre o que constitui em concreto uma “revolução industrial” (Maynard, 2015), do ponto de vista da evolução tecnológica, existem quatro fases revolucionárias comumente identificadas na literatura, representando saltos tecnológicos que levaram a mudanças de paradigma que hoje se denominam dessa forma.

A primeira revolução industrial teve início entre 1760 e 1840 em Inglaterra, e deu início à industrialização através da introdução da produção mecânica com o uso do carvão e da energia do vapor.

A segunda revolução industrial começou no início do século XX e permitiu a separação de componentes e montagem de produtos com base na divisão do trabalho (Erol, Schumacher, & Sihn, 2016) onde cada trabalhador passou a ser responsável por uma parte do trabalho, o que desencadeou um aumento de produtividade (Ślusarczyk, 2018). Esta revolução foi caracterizada pela produção em massa e pela substituição de vapor por energia química e eletricidade. A fim de atender à crescente procura, foi desenvolvida uma gama de tecnologias na indústria como linhas de montagem de operação automatizada, permitindo o aumento no desempenho (Ślusarczyk, 2018), o que, diminuindo os custos de produção, tornou os preços dos bens de consumo mais acessíveis (Guoping, Yun, & Aizhi, 2017). As duas primeiras revoluções industriais levaram a um aumento das condições de vida dos trabalhadores, e a melhorias na urbanização (Ślusarczyk, 2018).

A terceira revolução industrial teve início na segunda metade do século XX, e começou a usar aparelhos eletrónicos e tecnologia de informação (TI) para aumentar a automação dos processos de produção, diferenciando-se da revolução industrial anterior, já que as máquinas passaram a assumir não só uma parte substancial do “trabalho manual”, mas também uma parte do “trabalho intelectual” (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013). Esta revolução, também chamada de

revolução digital, proliferou o uso dos semicondutores, dos computadores, da automação e robotização em linhas de produção com informação armazenada e processada de forma digital, as comunicações, os telefones móveis e a internet, e trouxe melhorias significativas na eficiência e na qualidade da produção (Ślusarczyk, 2018).

O conceito de Indústria 4.0 (I4.0) foi mencionado pela primeira vez em 2011 na Alemanha, com o objetivo de desenvolver um novo conceito de política económica alemã baseada em estratégias de alta tecnologia (Roblek, Mesko, & Krapez, 2016). Iniciativas governamentais e industriais esboçam um cenário futuro em que os avanços na tecnologia e na manufatura são explorados de forma a possibilitar uma nova forma de operar nas empresas e especialmente na indústria da produção (Erol, Schumacher, & Sihn, 2016), corroborando a opinião de que a quarta revolução industrial, pela qual estamos a passar, tem um enorme potencial e fomentará oportunidades económicas e sociais através de uma mudança de paradigma de especial importância em relação à organização do trabalho, modelos de negócio e tecnologia de produção (Pereira & Romero, 2017). Esta mudança de paradigma tem em vista a possibilidade de trabalhar com um nível mais elevado de automação, e consequentemente um nível mais elevado de produtividade e eficiência operacional (Lu, 2017) conectando o mundo físico ao mundo virtual (Baena, Guarín, Mora, Sauza, & Retat, 2017), e pretende trazer a informatização e a interconexão para a indústria tradicional (Lu, 2017). A Figura 2.1 resume a evolução cronológica das revoluções industriais e o respetivo aumento de complexidade tecnológica.

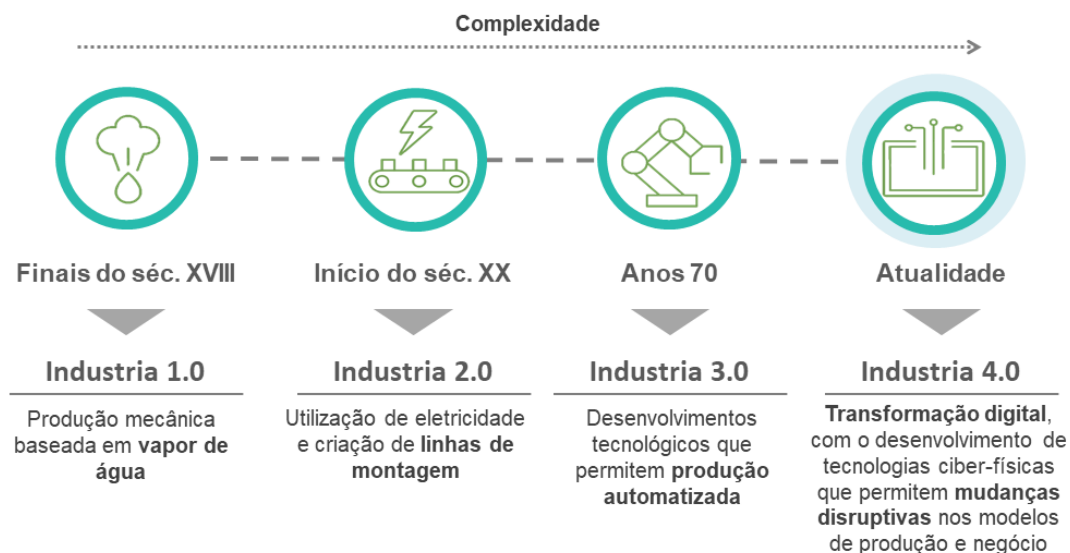


Figura 2.1 - Evolução cronológica das revoluções industriais e respetiva complexidade tecnológica

Embora a Indústria 4.0 ainda não seja uma realidade a nível global, começa a olhar-se para o futuro e para uma 5ª Revolução Industrial como possível resposta para os desafios que a 4ª Revolução Industrial poderá criar. Segundo Nahavandi (2019), a Indústria 4.0 trata da automação de processos e da introdução da computação de ponta de forma distribuída e inteligente, com foco na melhoria da eficiência dos processos, tirando, no entanto, a atenção do custo humano resultante da otimização dos processos. Contudo, ao longo dos anos esta revolução poderá gerar resistência de sindicatos e políticos, que verão alguns dos benefícios da Indústria 4.0 neutralizados à medida que aumenta a pressão para melhorar a empregabilidade. Assim, trazendo de volta os trabalhadores humanos para o chão de fábrica, espera-se que a 5ª Revolução Industrial una humanos e máquinas de forma a utilizar de melhor forma a inteligência e criatividade humanas para aumentar a eficiência do processo, combinando fluxos de trabalho com sistemas inteligentes. Assim, a Indústria 5.0 pretende criar uma sinergia entre humanos e máquinas autónomas, permitindo a produção robótica com ajuda humana, e trazendo a próxima geração de *robots*, comumente denominados de *cobot*, que saberão, ou aprenderão rapidamente, o que fazer. Espera-se que estes *robots* colaborativos estejam cientes da presença humana e, portanto, tenham em conta critérios de segurança e risco. Além disso, espera-se ainda que os *cobots* observem, aprendam a forma de execução da tarefa, e sejam capazes de executar a tarefa pretendida. A 5ª Revolução Industrial surgirá quando os seus três elementos principais – dispositivos inteligentes, sistemas inteligentes e automação inteligente – se fundirem totalmente com o mundo físico em cooperação com a inteligência humana.

2.2 Compreender a Indústria 4.0: características principais

Como foi abordado no subcapítulo anterior, as três primeiras revoluções industriais surgiram como resultado da produção mecânica, da eletricidade e das TI, e mudaram a forma como os produtos e os serviços eram desenvolvidos, produzidos e vendidos.

Atualmente, estamos perante uma nova revolução industrial – a Indústria 4.0, que pretende que através da automação da produção baseada no uso e na partilha de dados em tempo real, usando inteligência artificial combinada com a *Internet of Things* (IoT) e a *Internet of Services* (IoS), se criem e adaptem empresas que não só são interconectadas como também comunicam, analisam e usam informação para impulsionar ações inteligentes no mundo físico. Desta forma, pretende-se que se alcance a redução de custos, a melhoria no desempenho e também uma oferta de produtos e serviços melhorados, tendo em conta as preferências e os comportamentos do consumidor (Ślusarczyk, 2018) tomando possível uma transformação antecipada de como os produtos são feitos e usados (Maynard, 2015). As tecnologias da Indústria 4.0 estão, assim, a inaugurar uma nova era de design, produção e serviço pós-venda, baseada na comunicação via Internet, o que permite uma interação contínua e troca de informações não apenas entre humanos (C2C), e

humanos e máquinas (C2M), mas também entre as próprias máquinas (M2M) (Roblek, Mesko, & Krapez, 2016). Apesar de a Indústria 4.0 ter vindo a ser um tema muito investigado e discutido ao longo dos últimos anos, ainda não existe total consenso sobre o seu conceito, significado e visão. Assim, por se considerar que esta revolução ainda está num estado conceptual, não são claras as suas implicações e consequências, e por isso mesmo, a maioria das empresas não consegue estar ciente, a este ponto, dos desafios que serão enfrentados se adotarem a estrutura da Indústria 4.0 (Pereira & Romero, 2017). No entanto, segundo os mesmos autores, esta revolução industrial está a ser prevista, ao contrário das três revoluções anteriores, o que permite que as empresas tomem decisões e procedam com base nisto para se prepararem para as transformações futuras, definindo os planos de produção mais adequados e planeando o seu desenvolvimento com base nos desafios deste novo paradigma industrial. É importante notar que embora a 4ª revolução industrial seja comumente associada à produção industrial, ela pode manifestar-se em diversos aspetos da sociedade, como a tecnologia, a produção, o mercado de consumo e os negócios, e tem potencial para influenciar variados campos da vida humana (Guoping, Yun, & Aizhi, 2017). O progresso da eletrónica, *Big Data*, comunicação, robótica, juntamente com paradigmas como IoT e IoS, permitem o desenvolvimento de sistemas avançados focados na melhoria da eficiência energética, automação, suporte à decisão, e mesmo da segurança. Hoje em dia, setores como os transportes, indústria e até a defesa, podem ser beneficiados com estes avanços (Blanco-Novoa et al., 2018). Assim, faz sentido entender quais são os principais pilares deste avanço tecnológico para que se possa perceber quais serão os principais desafios a enfrentar.

2.2.1 Os pilares tecnológicos

Através da revisão de literatura sobre o tema, percebeu-se que apesar de serem vários os potenciais componentes tecnológicos referidos na literatura, não existe total consenso sobre quais são os principais pilares tecnológicos da Indústria 4.0. Os autores (Hermann, Pentek, & Otto, 2015), em linha com (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013), consideram que *big data* e *cloud computing* são serviços de dados que utilizam dados gerados nas implementações da Indústria 4.0, mas não como pilares independentes desta revolução. Estes autores consideram assim, que os quatro principais componentes da Indústria 4.0 são: (1) *CPS*, (2) *IoT*, (3) *IoS* e (4) *Smart Factory*. Um ponto de vista diferente, é o de (Weyer et al., 2015), que categoriza os aspetos centrais da Indústria 4.0 em três paradigmas principais: (1) *Smart Product* (ou Produto Inteligente), (2) *Smart Machine* (ou Máquina Inteligente) e (3) *Augmented Operator* (Operador aumentado). Este autor afirma que a 4ª revolução industrial engloba o desenvolvimento de ambientes inteligentes capazes de unir o mundo real e virtual através do uso de *CPS*, integrando dispositivos, máquinas, módulos de produção e produtos, desencadeando ações e controlando-se de forma autónoma.

Para além de dar especial importância ao Produto Inteligente e à Máquina e Fábrica Inteligentes,

este autor surge com um novo aspeto relevante: a comunicação homem-máquina e o surgimento de novos tipos de trabalho. O paradigma (1) definido por este autor trata do surgimento de novos requisitos de mercado e do desenvolvimento de produtos inteligentes, que se tornem uma parte ativa do sistema. Estes produtos são capazes de armazenar dados e requisitos operacionais e comunicar autonomamente com os sistemas industriais, solicitando os recursos necessários e orquestrando os processos de produção para a sua conclusão. São ainda capazes de fornecer informação sobre o seu estado durante todo o ciclo de vida. O paradigma (2) está relacionado com a Fábrica Inteligente em que a hierarquia de produção tradicional será substituída por uma auto-organização descentralizada habilitada por CPS. O autor prevê que as linhas de produção se irão tornar extremamente flexíveis e modulares, tornando possível a produção de lotes muito pequenos sob condições de produção em massa altamente flexíveis. Finalmente, o paradigma (3) está relacionado com o desafio do desempenho de tarefas novas, num ambiente desafiador de sistemas de produção altamente modulares. Segundo os autores, ao contrário do que se poderia imaginar, esta revolução não se direciona no sentido da inexistência de trabalho humano na produção. Os operadores serão, na realidade, as partes mais flexíveis do sistema de produção, adaptando-se a um ambiente de trabalho cada vez mais desafiador.

A indústria 4.0 introduz assim, novos tipos de interações entre o operador e as máquinas, assim como a coexistência entre humanos e robots, o que irá mudar a forma como o trabalho é feito e organizado para responder às mudanças de requisitos e à crescente variabilidade da produção. Segundo os autores, através de apoio tecnológico, os trabalhadores poderão otimizar o seu potencial, fazer tomadas de decisão estratégicas e resolver problemas de forma flexível.

Outra perspetiva é a de Rüßmann, et al. (2015), que afirmam que existem nove tendências tecnológicas que são pilares da Indústria 4.0. Este relatório da BCG indica que apesar de alguns destes nove pilares já serem usados atualmente na produção, através da adaptação dos mesmos à Indústria 4.0, têm potencial para se tornarem transformadores. Estes autores consideram que as nove tecnologias com potencial transformador na indústria da produção são: robótica avançada, simulação, integração horizontal e vertical do sistema, IoT, Segurança cibernética, *cloud computing*, *additive manufacturing*, realidade aumentada e *big data* e *analytics*.

Segundo Guoping, Yun, & Aizhi (2017), os pilares tecnológicos da 4ª revolução industrial podem ser divididos nas áreas de desenvolvimento de tecnologias digitais, físicas e biológicas. Assim, de acordo com os autores, esta revolução é impulsionada por avanços dentro de cada uma destas áreas e também de uma fusão entre elas. A tecnologia **digital** é a força motriz fundamental da 4ª revolução industrial, e quase todas as inovações e avanços tecnológicos impulsionados pela Indústria 4.0 são possíveis através do poder do digital (Schwab, 2016), permitindo que todo o mundo se mantenha conectado digitalmente. A tecnologia digital é manifestada sobre quatro

aspectos fundamentais: IoT, Inteligência Artificial e *Machine Learning*, *Big Data* e *Cloud computing* e Plataformas Digitais. A tecnologia **física**, tendo aplicações mais rápidas e visíveis, tem impactos mais diretos na vida quotidiana, e é manifestada principalmente através de tecnologias como os Carros Autónomos e a Impressão 3D. Já o desenvolvimento **biotecnológico** ligado à Indústria 4.0 assenta sobre a Engenharia Genética e a Neurotecnologia.

Assim, mesmo tendo em consideração a importância e a influência de todos os componentes mencionados na literatura como pilares da Indústria 4.0, para efeitos desta dissertação serão consideradas e introduzidas as tecnologias mais comumente consideradas como significantes e influentes para esta revolução industrial, representadas na

Figura 2.2.

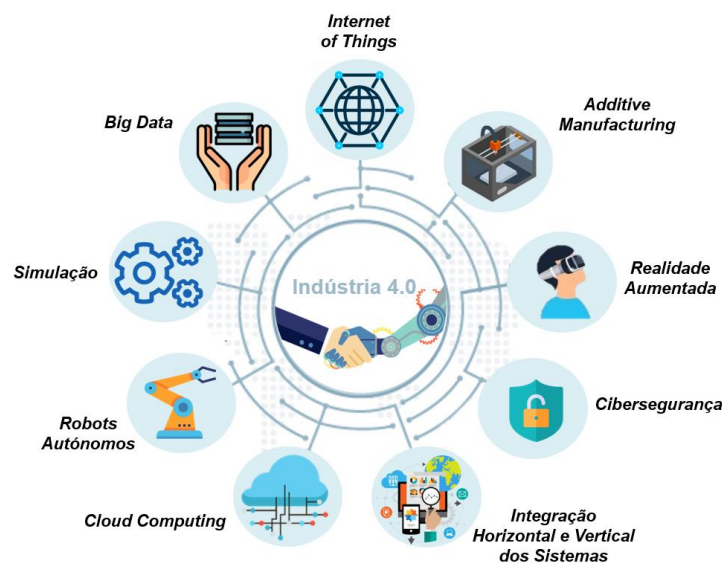


Figura 2.2 - Pilares tecnológicos da Indústria 4.0

2.2.1.1. *Internet of Things*

De acordo com o *European Research Cluster on the Internet of Things* (IERC) (Vermesan, et al., 2009), a *Internet of Things* (IoT) ou Internet das Coisas pode ser definida como “uma infraestrutura dinâmica de rede global com capacidades de autoconfiguração baseadas em protocolos de comunicação padronizados e interoperáveis onde “coisas” físicas e virtuais têm identidades, atributos físicos e personalidades virtuais, usam interfaces inteligentes e são perfeitamente integradas na rede de informação”. Estes mesmos autores acrescentam que se espera que as “coisas” na IoT “se tornem participantes ativos no negócio, informações e processos sociais, onde são habilitadas para interagir e comunicar entre si e com o meio através de troca de informação, enquanto reagem de forma autónoma aos acontecimentos no mundo real/físico e os influenciam ao desencadear ações e criar serviços com ou sem intervenção humana direta”.

A IoT, é um termo emergente que combina diferentes tecnologias e abordagens, baseadas na

conexão entre as coisas físicas e a Internet. A interconexão entre os computadores e a Internet tornou-se uma realidade e o desenvolvimento tecnológico nas últimas décadas possibilitou a expansão da Internet para um próximo nível: objetos inteligentes (Koptez, 2011). Portanto, o objeto inteligente é a base de uma visão da IoT, pois este paradigma consiste em dotar os objetos do cotidiano de inteligência, permitindo não apenas recolher informações e interagir com o meio ambiente, mas também estar interconectado com outros objetos, trocando dados e informações e desencadear ações através da *Internet* (Borgia, 2014).

Em última instância, o objetivo principal da IoT é permitir que as coisas sejam conectadas em qualquer momento, em qualquer lugar, com qualquer coisa ou pessoa, idealmente utilizando qualquer rede e qualquer serviço. (Morrar , Arman, & Mousa, 2017).

A Internet of Services (IoS) procura uma abordagem semelhante à IoT e surgiu como evolução da mesma, permitindo a existência de interação e conectividade entre as “coisas”, criando serviços com mais valor. A IoS será abordada em 2.3 - A Fábrica Inteligente, abaixo.

2.2.1.2. *Big Data*

Com o desenvolvimento de sensores, a melhoria da capacidade de armazenamento e o progresso de *machine learning*, o volume de dados está a aumentar. *Big Data* é um termo utilizado para fazer referência ao aumento do volume de dados que pela sua dimensão se tornam difíceis de armazenar, processar e analisar por meio de tecnologias armazenamento e tratamento de dados tradicionais. A definição mais amplamente reconhecida de *Big Data* diz que esta se trata de “um conjunto de técnicas e tecnologias que permitem novas formas de integração para descobrir grandes valores ocultos de grandes conjuntos de dados diversos, complexos e de grande escala” (Hashem, et al., 2014). A *Big Data* caracteriza-se pelos 4V’s (Hashem, et al., 2014) e (Guoping, Yun, & Aizhi, 2017): (1) Volume, (2) Variedade, (3) Velocidade e (4) Valor. O Volume refere-se à quantidade de todos os tipos de dados gerados a partir de diferentes fontes e a forma como se continua a expandir. Isto é vantajoso porque permite criar informações como as preferências dos clientes, algoritmos em caso de correlações, tendências e padrões ocultos através de análise de dados. A Variedade refere-se aos diferentes tipos de dados recolhidos através de sensores, *smartphones*, redes sociais, entre outros, que podem ser obtidos no formato estruturado ou não estruturado. A Velocidade refere-se à velocidade de transferência dos dados, e o Valor é, segundo os autores, o aspeto mais importante da *Big Data*, e refere-se ao processo de descobrir enormes valores ocultos de grandes conjuntos de dados com vários tipos de informação e geração rápida. Além destas, de forma a atribuir uma melhor caracterização da *Big Data*, foram definidas outras dimensões como a (5) Veracidade, (6) Visão, (7) Volatilidade, (8) Verificação, (9) Validação, e (10) Variabilidade (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). No contexto da Indústria 4.0, espera-se que a recolha e análise dos dados de várias fontes diferentes, se tornem comuns para apoiar a tomada

de decisão em tempo real (Rüßmann, et al., 2015) em áreas como a previsão de falhas para reduzir a probabilidade de erros, e também para criar algoritmos preditivos orientados para reduzir danos. Ao usar análises avançadas em programas de manutenção preditiva, no contexto da produção, as empresas podem evitar falhas nas máquinas, o que leva a diminuição dos tempos de paragem e ao aumento da produção (Bahrin et al., 2016). Segundo os mesmos autores, algumas empresas poderão instalar fábricas de “luzes apagadas”, onde *robots* automatizados continuam a produção depois de os trabalhadores saírem da empresa. Assim, os trabalhadores podem ser usados com mais eficiência, para tarefas que são realmente importantes, o que faz com que a capacidade de gerir a *big data* dê vantagem competitiva às empresas, que podem beneficiar disso nas operações, no *marketing* ou na experiência do consumidor (Alcácer & Cruz-Machado, 2019).

2.2.1.3. Cloud Computing

Cloud Computing (CC) é um modelo que permite fácil acesso a um conjunto de dispositivos compartilhados como servidores, redes, dispositivos de armazenamento, aplicações, serviços e outros dispositivos configuráveis de computação avançada. Uma característica importante do CC é a facilidade e rapidez de acesso e gestão do serviço de *cloud* (Paul & Ghose, 2012). Por isso, a necessidade de armazenar, processar e analisar grandes quantidades de dados levam muitas pessoas individuais e organizações a usar o *cloud computing*. Este paradigma de computação orientada pelo serviço, tem vindo a revolucionar o setor das tecnologias da informação, dando flexibilidade à maneira como a TI é consumida, e permitindo que as organizações paguem apenas pelos recursos que usam. Em comparação com outros modelos, os serviços de *cloud* são mais fáceis de usar, oferecendo alta performance a um baixo custo e são ambientalmente sustentáveis. Como eliminam grandes despesas iniciais em hardware e elevados custos de mão-de-obra para a manutenção, os serviços *cloud* são benéficos para as pequenas e médias empresas (Zhenget al., 2014). No caso de uma empresa moderna, as operações envolvem inúmeras atividades de tomada de decisão, necessitando de grandes quantidades de informação e computação intensiva. Assim, antes do uso do *cloud computing*, para que todas as operações pudessem ocorrer de forma fluída, as empresas, como as que se dedicam à produção, necessitavam de diversos recursos de computação, como servidores para bases de dados e unidades de tomada de decisão. Segundo Xu, Xu, & Li (2018), isto causava uma troca e partilha de dados ineficiente, baixa produtividade e uma utilização dos recursos que não era a ótima. Assim, o *cloud computing* pode surgir como uma solução para estes problemas, pois todos os dados podem ser armazenados em servidores privados ou públicos, e podem servir de base para tomadas de decisão complexas (Xu, Xu, & Li, 2018).

2.2.1.4. Realidade Aumentada

A definição de Realidade Aumentada (RA) remonta a 1997 (Azuma, A survey of augmented

reality, 1997), onde se caracterizou um sistema de RA como uma combinação de conteúdo de registo espacial aumentado com resposta interativa e em tempo real às ações do utilizador (Paelke, 2014). Esta tecnologia pode ser usada numa ampla variedade de setores, como o entretenimento, o *marketing*, o turismo, a cirurgia, a logística, a produção, a manutenção, etc. (Alcácer & Cruz-Machado, 2019).

Embora a Realidade Aumentada não seja uma ideia nova, no contexto da iniciativa da Indústria 4.0, esta começou a ser considerada uma das tecnologias mais interessantes nas quais as empresas deveriam investir, principalmente para melhorar os seus serviços de manutenção, montagem e reparação de máquinas (Azuma, The Most Important Challenge Facing Augmented Reality, 2016). Uma das principais vantagens do uso de uma aplicação de Realidade Aumentada, comparativamente à documentação tradicional é que o operador pode ter acesso às informações necessárias para executar as atividades diretamente na área de trabalho, sem que haja necessidade de consultar o manual tradicional (Masoni, et al., 2017). Para além disso, segundo Webel, et al. (2013), estas tecnologias permitem também um modo de formação eficiente para a manutenção e montagem que acelera a aquisição de novas competências pelos técnicos em procedimentos de manutenção. No caso específico da Indústria 4.0, pode ser definido o conceito de Realidade Aumentada Industrial (RAI), que envolve o hardware e software de Realidade Aumentada cujas características (como a robustez, acessibilidade, vida útil da bateria) as tornam ideais para fábricas e ambientes industriais, podendo ser usada em etapas de design do projeto, produção ou controlo de qualidade (Blanco-Novoa et al., 2018).

A Figura 2.3 mostra as tarefas relacionadas com ambientes industriais às quais a RA pode acrescentar valor.



Figura 2.3 - Valor da Realidade Aumentada Industrial na I4.0
Adaptado de (Alcácer & Cruz-Machado, 2019)

De acordo com os mesmos autores, as aplicações de RAI mais populares são usadas para processos de montagem, onde foi demonstrado recentemente que a RAI reduz significativamente o número de erros e diminui o tempo e a carga de trabalho mental em relação a outras abordagens. Existem sistemas RAI com diversos fins, como sendo a montagem virtual genérica, para montagem de cockpits, para nano-manufatura ou para criação de instruções passo-a-passo para certos processos de montagem. Estas aplicações também foram desenvolvidas para formação de operadores com diferentes competências ou para realizar manutenção em ambientes exigentes como o setor aeroespacial.

2.2.1.5. Simulação

A simulação é um método que tem sido usado para projetar e analisar sistemas de produção desde os anos 50 (Gunal & Karatas, 2019), e é definida como uma imitação das operações de um sistema ou processo do mundo real ao longo do tempo (Alcácer & Cruz-Machado, 2019), retratando fenômenos físicos do mundo real em computadores através de modelos virtuais. Assim, usando modelos, qualquer alteração nos sistemas pode ser testada com segurança e com um custo significativamente menor, reproduzindo os processos de produção e usando-os para testar, planejar e agendar determinados componentes do sistema (Prinz, et al., 2016). Segundo Gural (2019), a simulação facilita os CPS e as Fábricas Inteligentes, e surgem benefícios da simulação na Indústria 4.0:

1. Redução de desperdício de tempo e recursos, e aumento da eficiência;
2. Aumento das receitas e da produtividade;
3. Individualização na procura por produtos;
4. Aumento de trabalhadores qualificados;
5. Maior segurança no trabalho;
6. Novas oportunidades com dados.

2.2.1.6. Additive Manufacturing

Additive Manufacturing (AM) é uma tecnologia potencialmente disruptiva que permite a criação de novos produtos, influenciando os processos de produção, os modelos de negócio, o design das cadeias de abastecimento, a logística, o planeamento do ciclo de vida do produto e o comportamento do consumidor (Jiang, Kleer, & Piller, 2017). O termo *Additive Manufacturing* trata de um conjunto de tecnologias que possibilitam a impressão 3D de objetos personalizados (Hannibal & Knight, 2018), sem os excedentes elevados da produção convencional. Esta tecnologia é um processo de criação de um objeto 3D baseado na deposição de materiais camada

por camada ou gota a gota num sistema controlado por um computador (Kim, Lin, & Tseng, 2018), em contraste com as tecnologias de produção subtrativas tradicionais (Jiang, Kleer, & Pillar, 2017). Alguns dos benefícios potenciais da AM e referenciados por (Tofail, et al., 2018) são:

1. As peças podem ser fabricadas diretamente de ficheiros CAD;
2. Maior personalização sem ferramentas extra ou custos de produção;
3. Produção de geometrias complexas (algumas geometrias não conseguem ser alcançadas com os processos de produção convencionais, a não ser que se produza a peça por partes);
4. Produção de peças ocas (mais leves) ou estruturas em treliça;
5. Maximização do uso do material para uma abordagem de “zero desperdício”;
6. Menor presença operacional na produção de uma grande variedade de peças;
7. Produção consoante a procura e excelente escalabilidade.

Segundo Shin (2016), a *Additive Manufacturing* permite a criação de um fluxo de trabalho que inclui o design da geometria, o desenvolvimento de ferramentas computacionais e interfaces, o design do material, e a modelação dos processos e ferramentas de controlo. Além disso, o mesmo autor afirma que os campos de aplicação desta tecnologia passam pela nano-escala (ex: biofabricação), microescala (ex: eletrónica), macroescala (ex: produtos pessoais, automóveis) e em larga escala (ex: arquitetura e construção, produção aeroespacial e defesa). No entanto, (Hannibal & Knight, 2018) afirmam que a AM tem potencial para influenciar a natureza e a forma de produção das seguintes atividades e indústrias: na produção de forma geral, na construção, na indústria automóvel, indústria aeroespacial, segurança e defesa, na saúde, na eletrónica, moda e joalharia, bens domésticos, brinquedos, indústria alimentar, arquitetura e educação. (Hannibal & Knight, 2018) salienta, no entanto, os problemas e limitações desta tecnologia:

1. Produção em massa: AM adequa-se melhor à produção de lotes pequenos. Os produtos que atualmente são produzidos em grandes volumes para o consumo em massa não são bons candidatos para a impressão 3D, pois o custo unitário de produção para produzir centenas de peças idênticas continua a ser muito menor através da produção convencional;
2. Baixa velocidade de produção através da impressão 3D impõe limites à impressão em larga escala e à customização em massa;
3. Apesar de ser possível, através de AM, produzir peças de dimensão muito reduzida, não é possível produzir de forma eficiente produtos de grande tamanho e complexidade;

4. A AM tem limitações no que toca ao tipo de materiais usados na produção;
5. Existem também limitações no que toca à precisão das impressoras 3D;
6. A atratividade da aquisição de impressoras 3D para uso doméstico pode ser reduzida;
7. Manutenção da propriedade intelectual quando as impressoras se tornarem comuns em lojas e em ambientes domésticos .

Numa previsão futura para os processos de AM (Chang, et al., 2018) veem processos como a impressão 3D em micro/nanoescala, *bioprinting* (AM de biomateriais) e impressão 4D (combinação de AM com materiais inteligentes). Outra direção futura sobre a AM é a questão da sustentabilidade, na qual esta pode desempenhar um papel significativo na diminuição dos recursos desperdiçados e na redução do consumo de energia, usando produção *just-in-time*. Além disso, a impressão 3D e a produção digital podem ter também impacto na sociedade, por potenciarem uma reestruturação no tipo de trabalho executado pelos trabalhadores (Dilberoglu et al., 2017).

2.2.1.7. Integração Horizontal e Vertical do Sistema

As diversas partes integrantes de uma empresa, desde a engenharia, à produção, marketing, fornecedores, cadeia de abastecimento, estando conectadas, permitem a criação de um ambiente colaborativo de integração dos sistemas de acordo com o fluxo de informação e com o nível de automação existente. A integração dos sistemas no âmbito da Indústria 4.0 pode ser vista de duas perspetivas: (1) Integração horizontal e (2) Integração vertical, como demonstra a Figura 2.4, e a partilha de dados em tempo real é permitida por estes dois tipos de integração.

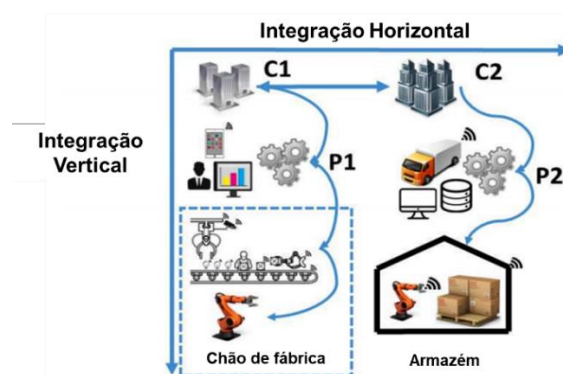


Figura 2.4 - Integração Horizontal e Vertical

Fonte: (Suri, et al., 2017)

A integração horizontal (ou integração entre empresas) é a base para uma forte colaboração entre as empresas e os seus *stakeholders* (Suri, et al., 2017), usando sistemas de informação para enriquecer o ciclo de vida do produto. Para que estes sistemas sejam interoperáveis, eles têm de ser desenvolvidos de uma forma independente da plataforma, e com base em padrões industriais.

Isto permite-lhes trocar dados e evitar problemas na interação com os fornecedores. A integração vertical (ou integração intraempresa) é a base para um intercâmbio de dados e colaboração entre os diferentes níveis hierárquicos da empresa e também deve ser baseada em padrões (Suri, et al., 2017). Este tipo de integração permite criar, dentro de uma fábrica, um sistema de produção flexível e reconfigurável (Wang et al. , 2016). No entanto, para além da integração horizontal e vertical, alguns autores como (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013) acrescentam uma terceira perspectiva de integração, que tem em conta todo o ciclo de vida do produto, à qual chamam de integração digital *end-to-end*, que atravessa toda a cadeia de valor desde a recolha dos requisitos do cliente, *design* e desenvolvimento de produtos, planeamento da produção, engenharia da produção, produção, serviços, manutenção e reciclagem e é baseado na integração vertical e horizontal. Este tipo de integração tem em vista fechar lacunas entre o design, a produção do produto e o cliente (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). A Figura 2.5 representa a relação entre os três tipos de integração.

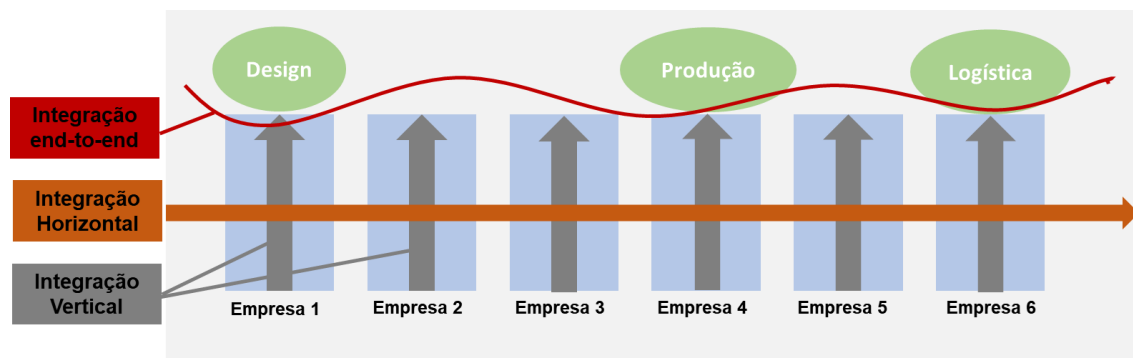


Figura 2.5 -Tipos de integração e a sua relação
Adaptado de (Wang, Wan, Li, & Zhang, 2016)

2.2.1.8. Robots autónomos

O paradigma da produção está a mudar rapidamente da produção em massa para a produção customizada, o que exige *robots* com tecnologias de automação reconfigurável. O impacto desta tendência cai sobre uma maior variação do produto, menor tempo de ciclo e com foco ideal na produção de lotes com apenas um produto (Pedersen, et al., 2016). A Figura 2.6 mostra a realidade do conceito da produção, onde é possível ver que os sistemas de produção tradicional podem ter um alto grau de automação, mas não permitem que exista simultaneamente um alto grau de reconfiguração. Por outro lado, o trabalho humano manual é muito flexível, mas é economicamente inviável para produção em larga escala. Assim, as necessidades futuras do mercado, que apontam para a customização em massa, vão tornar necessário combinar simultaneamente um alto nível de flexibilidade, com um alto nível de automação.

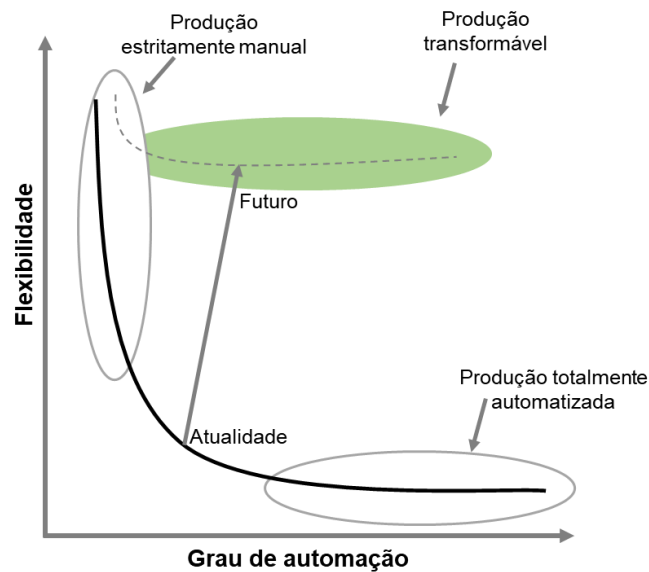


Figura 2.6 - Níveis de flexibilidade e automação da produção tradicional e da produção futura
Adaptado de (Pedersen, et al., 2016)

Uma das formas de alcançar o objetivo da produção baseada na customização em massa, alcançando a fábrica transformável do futuro, é o uso de robótica avançada, dando aos *robots* um papel importante na indústria da produção moderna.

Uma parte essencial da Indústria 4.0 são os métodos de produção autônomos, suportados por *robots* que podem concluir tarefas de maneira inteligente, com foco em segurança, flexibilidade, versatilidade e colaboração (Bahrim et al., 2016). Os *robots* estão a tornar-se cada vez mais autônomos, flexíveis e cooperativos, e espera-se que eventualmente interajam uns com os outros e trabalhem em segurança lado a lado com os humanos, que se movam autonomamente, lidem com a incerteza nas interações com seres humanos e ambientes parcialmente desconhecidos, lidem com alguma variedade de tarefas diferentes e possam ser rapidamente reprogramados por pessoas especializadas quando uma nova tarefa surge na fábrica (Pedersen, et al., 2016). Nesse sentido, as capacidades de computação, comunicação, controlo, autonomia e sociabilidade são alcançadas ao combinar microprocessadores e Inteligência Artificial (IA) com produtos, serviços e máquinas para os tornar inteligentes (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). Assim, não havendo necessidade de isolar a sua área de trabalho, a integração dos *robots* nos espaços de trabalho dos humanos torna-se mais económica e produtiva e abre várias possibilidades para a indústria (Bahrim et al., 2016). Esta opinião vai ao encontro da visão da Fábrica Inteligente, em que humanos e *robots* colaborativos (*robots* projetados para interagir diretamente e fisicamente com seres humanos através de interfaces homem-máquina, em estreita cooperação) trabalharão em conjunto, quebrando a barreira humano-robot e oferecendo maior acessibilidade e flexibilidade de soluções (Makrini, et al., 2018).

Os autores (Bahrim et al., 2016) consideram que a robótica avançada tem assim um papel muito importante, pois a possibilidade de configurar rapidamente as máquinas para se adaptarem às especificações fornecidas pelo cliente, faz com que seja possível a customização em massa. Esta flexibilidade pode também ser vantajosa no sentido em que protótipos, novos produtos ou variantes de um tipo de produto podem ser produzidos rapidamente, sem necessidade de reformulação ou configuração de novas linhas de produção (Gerbert, et al., 2015).

2.2.1.9. Cibersegurança

Existem cada vez mais dispositivos conectados à rede global: a *Internet*. Em simultâneo, existem cada vez mais empresas que decidem adotar as práticas da Indústria 4.0, ao conectar as suas fábricas à *Internet* com o objetivo de melhorar a sua eficiência e eficácia. No entanto, o uso crescente da *Internet* e de dispositivos móveis faz com que os limites de uma empresa se tornem poucos claros e acabem por desaparecer, o que conduz um cenário de risco ilimitado (He, et al., 2016). Assim, num contexto industrial conectado à *Internet*, a cibersegurança representa um dos desafios mais complexos e relevantes para as empresas (Lezzi, Lazoi, & Corallo, 2018), tornando-se um fator crítico de sucesso para a produção inteligente. A cibersegurança é uma tecnologia facilitadora da digitalização, mas quando mal gerida, pode comprometer os benefícios que a digitalização pode trazer (Kannus & Ilvonen, 2018).

De acordo com a União Internacional de Telecomunicações (International Communications Union, 2019), cibersegurança é “o conjunto de ferramentas, políticas, conceitos de segurança, salvaguardas de segurança, diretrizes, abordagens de gestão de riscos, ações, formação, melhores práticas, garantia e tecnologias que podem ser usadas para proteger o ambiente cibernético, a organização e os ativos do utilizador”. A mesma fonte, considera que “os ativos da organização e do utilizador incluem dispositivos de computação conectados, pessoas, infraestrutura, aplicações, serviços, sistemas de telecomunicações e a totalidade das informações transmitidas e/ou armazenadas no ambiente cibernético”. Assim, a cibersegurança tem como objetivo a garantia da obtenção e manutenção das propriedades de segurança da organização e dos ativos do utilizador contra riscos de segurança relevantes no ambiente cibernético. Os objetivos gerais de segurança incluem: disponibilidade, integridade e confidencialidade.

Hoje em dia, os equipamentos industriais (Lezzi, Lazoi, & Corallo, 2018), assim como IoT, ambientes virtuais, acesso remoto, dados armazenados na *cloud*, entre outros (Alcácer & Cruz-Machado, 2019), são vulneráveis a ataques cibernéticos, capazes de afetar os modelos de negócio. Assim, no contexto da Indústria 4.0, a cibersegurança desempenha um papel de liderança na prevenção da perda de competitividade das empresas (Lezzi, Lazoi, & Corallo, 2018), e espera-se que a cibersegurança se torne parte integrante da estratégia, design e operações das empresas que decidam adotar o paradigma da Indústria 4.0.

2.2.2 Princípios de Design subjacentes à Indústria 4.0

De acordo com um estudo realizado por Hermann, Pentek, & Otto (2015), e apoiado por Mrugalska & Wyrwicka (2017), Thuemmler & Bai (2017) foram identificados seis princípios comuns de *design* dos componentes da Indústria 4.0 apresentados na

Tabela 2.1, sendo eles a orientação para serviços, descentralização, interoperabilidade, virtualização, capacidade em tempo-real e modularidade.

No entanto, para além destes seis princípios, Vogel-Heuser & Hess (2016) acrescentam a eficácia geral do equipamento (alcançada através da otimização de processos de produção com base em algoritmos de *Big Data*), a integração interdisciplinar de dados (ao longo de todo o ciclo de vida e com base em modelos de dados padronizados), a comunicação segura entre empresas, e o acesso seguro aos dados armazenados na *Cloud/Intranet*. Outra perspetiva é a de Qin, Liu, & Grosvenor (2016), que divide os princípios de *design* da Indústria 4.0 em dois grupos que cooperam: a interoperabilidade e a consciência. Segundo os autores, a interoperabilidade, cuja ideia central é a integração, é subdividida em digitalização, comunicação, padronização, flexibilidade, responsabilidade em tempo-real e customização. O segundo princípio principal de *design* da Indústria 4.0 é a consciência, que tem como base a exigência de uma produção inteligente, desenvolvendo conhecimento e tomando decisões e ações autónomas e inteligentes, e subdivide-se em manutenção preditiva, autoconsciência, otimização autónoma e autoconfiguração.

Ainda que, tendo em consideração os vários princípios enumerados pelos diversos autores, para efeitos desta dissertação, serão considerados e descritos abaixo os seis princípios de *design* da Indústria 4.0 mais comumente identificados.

Tabela 2.1 - Princípios de Design da Indústria 4.0 para os principais componentes da Indústria 4.0
Adaptado de (Hermann, Pentek, & Otto, 2015)

	CPS	IoT	IoS	Fábrica Inteligente
Interoperabilidade	X	X	X	X
Virtualização	X	-	-	X
Descentralização	X	-	-	X
Capacidade em tempo-real		-	-	X
Orientação para o Serviço	-	-	X	-
Modularidade	-	-	X	-

2.2.2.1. Interoperabilidade

Este princípio trata da capacidade de conexão e comunicação entre componentes físicos, humanos e a fábrica inteligente (Vogel-Heuser & Hess, 2016). Nas fábricas inteligentes e fábricas do futuro, a interoperabilidade é crucial para permitir o fluxo contínuo de informação a todos os níveis. Este princípio torna-se muito importante para permitir que todo o *loop* do sistema execute e troque

informações continuamente. Nos CPS é também importante que diferentes serviços possam ser agregados e integrados para conseguir gerar-se informação com valor e significado (Thuemmler & Bai, 2017).

2.2.2.2. Virtualização

Segundo Vogel-Heuser & Hess (2016) e Hermann, Pentek, & Otto (2015), a virtualização representa a capacidade de o CPS monitorizar processos físicos. Os autores acrescentam que os dados dos sensores estão ligados a modelos de plantas virtuais e modelos de simulação, criando uma cópia virtual do mundo físico.

2.2.2.3. Descentralização

De acordo com Hermann, Pentek, & Otto (2015), o aumento da procura por produtos cada vez mais personalizados torna mais difícil controlar o sistema centralmente. Assim, a existência de componentes inteligente e autónomos permitem que o CPS tome decisões próprias com base nos dados recolhidos em tempo real (Vogel-Heuser & Hess, 2016). Em caso de falha, as tarefas são delegadas a um nível superior.

2.2.2.4. Capacidade em tempo-real

Este princípio permite o acesso aos dados relevantes do processo e de engenharia e à respetiva análise em tempo real, assim como aos algoritmos de *Big Data* (Vogel-Heuser & Hess, 2016). Esta capacidade é importante para as operações a fim de garantir a orquestração adequada dos processos.

2.2.2.5. Modularidade

A modularidade trata da capacidade de adaptação de forma flexível às mudanças de requisitos, substituindo ou expandindo módulos individuais (Hermann, Pentek, & Otto, 2015), (Vogel-Heuser & Hess, 2016), o que pode ser vantajoso, por exemplo, em caso de flutuações sazonais ou alterações nas características do produto.

2.2.2.6. Orientação para serviços

Através deste princípio, os serviços das empresas, CPS e humanos estão disponíveis na IoS e podem ser utilizados por outros intervenientes. Estes serviços via *Internet* com base numa arquitetura de referência orientada para os serviços (Vogel-Heuser & Hess, 2016) podem ser oferecidos internamente e além das fronteiras da empresa (Hermann, Pentek, & Otto, 2015).

2.2.3 Impactos da Indústria 4.0

Assim como as revoluções industriais precedentes, a Indústria 4.0 tem potencial para melhorar não só a indústria em diversos níveis, mas também a qualidade de vida da população mundial.

Um exemplo simples disso, é a facilidade com que os consumidores têm acesso a produtos e serviços de forma remota, aumentando a eficiência e o prazer nas suas vidas. Em termos sociais, esta revolução pode também gerar maior desigualdade no que toca ao mercado de trabalho, com a possibilidade de a automação substituir alguns cargos executados por humanos, é possível que surja um mercado de trabalho dividido em segmentos ligados à qualificação dos trabalhadores, em que o talento, mais do que o capital, poderá ser um fator crítico para a produção. No que toca à indústria, esta revolução mudará significativamente os produtos e sistemas de produção em relação ao design, processos, operações e serviços. Também poderá ter impacto na criação de novos modelos de negócio, que terão um grande efeito no setor e nos mercados, podendo afetar o ciclo de vida dos produtos, possibilitando novas formas de produzir e fazer negócios, permitindo a melhoria de processos e o aumento da competitividade entre empresas.

As reestruturações industriais com vista ao alcance das metas da Indústria 4.0 requerem um período de desenvolvimento longo (Qin, Liu, & Grosvenor, 2016) e, apesar de as investigações feitas reunirem diferentes pontos de vista no que toca aos aspetos que serão cobertos e impactados por estas reestruturações, existem quatro aspetos nos quais existe maior consenso (Pereira & Romero, 2017), sendo eles: Fábrica Inteligente, Produtos Inteligentes, Modelos de Negócio e Clientes. A Tabela 2.2 resume os aspetos fundamentais onde a visão futura da Indústria 4.0 terá impacto.

Tabela 2.2 - Impactos da Indústria 4.0 no futuro da produção

Fontes: (Radziwon et al., 2013) e (Qin, Liu, & Grosvenor, 2016)

Fábrica Inteligente	▪ Recursos para a produção conectados e com partilha automática de informação; ▪ Fábrica consciente e inteligente o suficiente para fazer previsão e manutenção dos equipamentos, controlar o processo de produção e gerir o sistema da fábrica; ▪ As soluções de fabricação permitem a criação de um ambiente inteligente ao longo da cadeia de valor, permitindo a realização de processos flexíveis e adaptativos; ▪ Processos de produção (como design de produto, planeamento da produção, engenharia de produção, produção e serviços) simulados como modulares, e conectados <i>end-to-end</i>; ▪ Os processos são comandados de forma descentralizada e controlados de forma interdependente; ▪ A intercomunicação integrativa em tempo real entre todos os recursos de fabricação, aumenta a eficiência e permite alcançar os requisitos complexos do mercado.
Negócio	▪ Uma nova forma de comunicação entre várias empresas, fábricas, fornecedores, clientes, logística, recursos, etc; ▪ Cada secção otimiza a sua configuração em tempo real, dependendo da

	procura e do estado das secções associadas na rede, maximizando o lucro; ▪ Redução dos custos, poluição, matérias-primas, emissões de CO₂, entre outros; ▪ A rede de negócios do futuro será influenciada por cada secção colaboradora, que poderá atingir um estado de auto-organização e transmitir respostas em tempo real.
Produtos Inteligentes	▪ Os produtos são integrados a toda a cadeia de valor como parte ativa do sistema, e sendo incorporados com sensores, componentes identificáveis e processadores que transportam informação, tornam-se capazes de monitorizar as suas próprias etapas de produção através de armazenamento de dados, podendo solicitar os recursos necessários e controlar os processos produtivos de forma autónoma; ▪ Possibilidade de adição de funções aos produtos, como a medição do estado dos mesmos ou dos utilizadores durante o seu ciclo de vida, transmissão dessa informação, rastreio dos produtos e análise os resultados dependendo da informação obtida; ▪ O registo completo e análise das informações de produção pode ser incorporado no produto, auxiliando na otimização do projeto, na previsão e na manutenção; ▪ Podem ser descritos como CPS (Sistema Ciber-físico) devido à sua capacidade de permitir a conexão entre os mundos físico e virtual.
Clientes	▪ A Indústria 4.0 traz vantagens para os clientes ao melhorar a comunicação ao longo da cadeia de valor e, logo, melhorando a sua experiência; ▪ Materiais inteligentes e produtos inteligentes são rastreados ao longo de todo o seu ciclo de vida, permitindo um alto grau de personalização e, logo, de satisfação do cliente; ▪ Poderá existir um novo método de compra para os clientes, em que os mesmos poderão solicitar qualquer função dos produtos, e alterar os requisitos em tempo real; ▪ A aquisição de produtos inteligentes tem a vantagem para os clientes de se conhecerem as informações de produção de cada produto, e de se poder receber parâmetros, conselhos e estado de utilização dependendo dos seus comportamentos.

2.2.4 Implementação

O processo de implementação das tecnologias da Indústria 4.0 deve ocorrer de forma gradual, tendo início no estabelecimento de um nível de conectividade fundamental, e começando a integrar os processos da Indústria 4.0 a partir desse nível, usualmente em três horizontes sucessivos descritos abaixo e esquematizados na Figura 2.7 aproximando-se cada vez mais dos benefícios desta mudança (Tighar et al., 2018):

1. **Otimização do Processo:** as empresas fazem uma análise interna, de forma a otimizar a utilização de recursos, aumentar a automação e reduzir custos. Iniciativas deste tipo têm,

normalmente, benefícios facilmente quantificáveis com retorno do investimento;

2. **Fluxo de Processos e Qualidade:** neste tipo de iniciativas, as empresas recolhem e integram dados de forma a melhorar o fluxo do processo e a qualidade, aumentando os níveis de conectividade através de uma rede totalmente conectada;
3. **Novos Modelos de Negócio:** as empresas inovam tendo em vista a criação de novos fluxos de receita através de produtos novos ou melhorados, maior personalização do produto ou modelos totalmente novos.

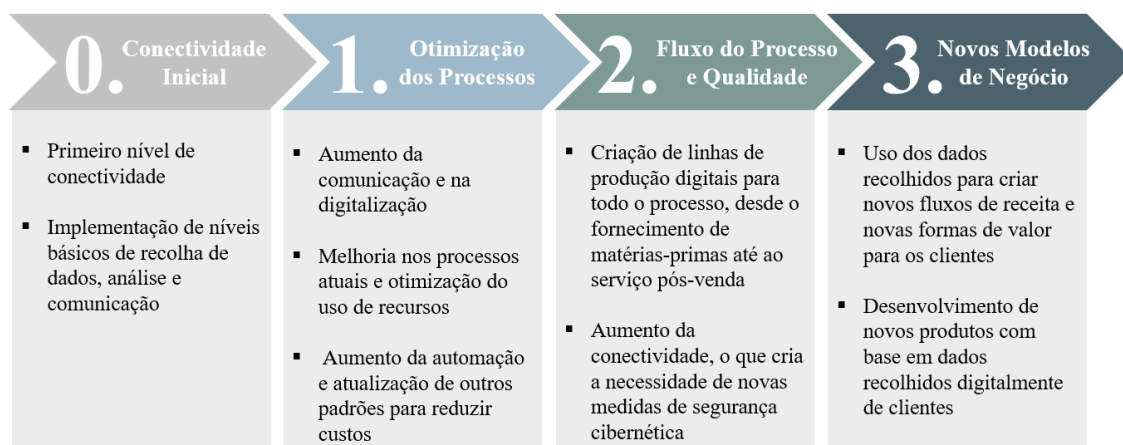


Figura 2.7 - Os três horizontes da Indústria 4.0

Adaptado de (Tighar, Keynan, Siegman, & Paikowsky, 2018)

A visão de (Tighar et al., 2018) de que o desenvolvimento das capacidades da Indústria 4.0 deve acontecer de forma gradual é corroborada pela abordagem de (Qin, Liu, & Grosvenor, 2016), em que é desenvolvido um *framework* hierárquico para a implementação da Indústria 4.0 com base na inteligência e na automação que funciona em sequência. Ao fazer uma análise comparativa dos diferentes pilares tecnológicos da Indústria 4.0 (Shen et al., 2016) revela que a inteligência dessas tecnologias difere, podendo ser classificadas por níveis de Inteligência: nível de controlo (baixo nível), nível de integração (médio nível), nível de inteligência (alto nível). Por outro lado, os sistemas de produção podem ser divididos em três níveis de automação: máquina, processo e sistema de fábrica (Lee, Smart Factory Systems, 2015). Assim, combinando o nível de inteligência com o nível de automação é criado um *framework* hierárquico (Qin, Liu, & Grosvenor, 2016) com nove segmentos, onde três níveis de tecnologia baseados na inteligência atuam em três secções do nível de automação, como é possível observar através da Figura 2.8.

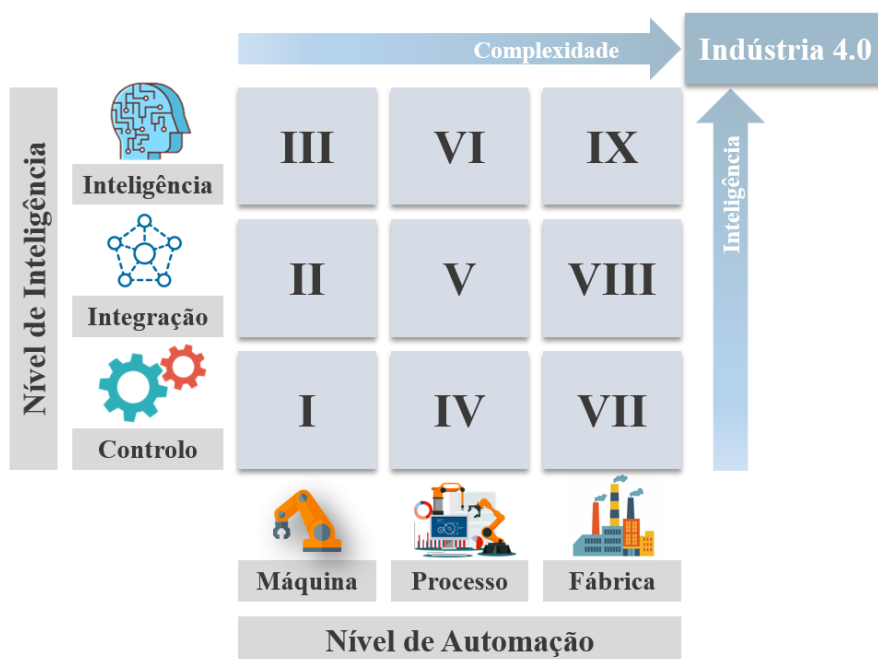


Figura 2.8 - Framework conceitual para a implementação da Indústria 4.0

Adaptado de (Qin, Liu, & Grosvenor, 2016)

Estas divisões vão assim de I a IX, de baixa inteligência e automação simples, a alta inteligência e automação complexa, tornando o sistema de produção cada vez mais automatizado, flexível e inteligente. Segundo Qin, Liu, & Grosvenor (2016), as tecnologias de integração, como a IoT e os CPS são aplicadas na produção com base nas tecnologias de controlo, criando assim um ambiente de produção digital. No nível de inteligência, a produção usa dados obtidos a partir do nível de integração, conseguindo planear os processos e tomar decisões inteligentes através de tecnologias como *data mining* e análise de *big data*. Assim, as tecnologias de alto nível baseiam-se nas tecnologias de baixo nível, ou seja, o *framework* funciona em sequência. Este *framework*, estrutura um mapa de desenvolvimento para o alcance da produção inteligente e da Indústria 4.0, com objetivo de criar um sistema produtivo consciente, e com otimização e configuração autónomas.

2.2.5 Barreiras à implementação

Apesar dos potenciais benefícios que a Indústria 4.0 pode trazer às empresas e de existir uma constante necessidade de evoluir e inovar devido à competitividade do mercado global e aos requisitos cada vez mais exigentes dos consumidores, existem ainda algumas barreiras que se impõem à implementação deste novo paradigma tecnológico. Os autores (Nagy et al., 2018) baseados num relatório da PwC, compilaram as principais barreiras encontradas pelas empresas segmentando-as em barreiras culturais, laborais, organizacionais e tecnológicas, apresentadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 -Barreiras à implementação da Indústria 4.0

Adaptado de (Nagy et al., 2018)

Barreiras Culturais	Barreiras laborais	Barreiras Organizacionais	Barreiras Tecnológicas
▪ Desconfiança ▪ Incerteza ▪ Julgamento realista das capacidades da organização ▪ Falta de procura pela aprendizagem contínua	▪ Trabalhadores com competências desadequadas ▪ Escassez de trabalhadores ▪ Formação antiquada aos trabalhadores	▪ Falta de estratégia digital ▪ Investimento de risco ▪ Medo de perda de controlo sobre a propriedade intelectual ▪ Os parceiros não possuem tecnologias adequadas ▪ Falha ao desenvolver serviços baseados nos dados da empresa ▪ Falta de apoio na gestão de topo	▪ Tecnologias dispendiosas ▪ Segurança dos dados, incerteza sobre o nível de encriptação dos dados ▪ Análise dos dados não desenvolvida

Através do estudo (McKinsey Digital, 2016), algumas barreiras à implementação parecem ser mais características do início da implementação, enquanto outras são mais recorrentes em empresas que estão num estado mais avançado de digitalização. Estes autores definem assim as cinco barreiras mais mencionadas pelos produtores com progresso nulo ou limitado na Indústria 4.0: dificuldade em coordenar ações, falta de coragem, falta de talento adequado, preocupações com segurança cibernética ao trabalhar com serviços externos, falta de um *business case* claro que justifique investimentos na arquitetura de TI existente. As empresas mais desenvolvidas no contexto da Indústria 4.0, acrescentaram três barreiras adicionais: preocupações com a propriedade dos dados ao trabalhar com serviços externos, incerteza sobre *insourcing* vs *outsourcing*, falta de conhecimento sobre os prestadores de serviços e dificuldades com a integração dos dados de diversas fontes.

2.3 A Fábrica Inteligente

Estando a Indústria 4.0 focada na criação de produtos, procedimentos e processos inteligentes, tendo como base a integração, a digitalização e o uso de estruturas flexíveis, as Fábricas Inteligentes tornam-se, assim, num dos aspetos principais desta revolução. As novas soluções de fabricação permitem a criação de um ambiente inteligente ao longo de toda a cadeia de valor, possibilitando o desempenho de processos flexíveis e adaptáveis (Kagermann, Wahlster, &

Helbig, 2013). As fábricas inteligentes são capazes de gerir a complexidade dos processos, são menos propícias a falhas, e existe uma intercomunicação integrativa em tempo real entre humanos, máquinas e recursos, o que aumenta a eficiência da produção e permite ir ao encontro dos requisitos do mercado altamente complexos (Pereira & Romero, 2017). A sua conexão com a Mobilidade, Logística, Edifícios, Produtos e Redes Inteligentes, fará da Fábrica Inteligente um componente essencial das infraestruturas inteligentes do futuro (Figura 2.9).

De forma conceptual, a fábrica inteligente é o centro da Indústria 4.0, e como já foi abordado anteriormente, não só as fábricas inteligentes, mas também a IoT, a IoS e os CPS são comumente considerados componentes principais da Indústria 4.0.

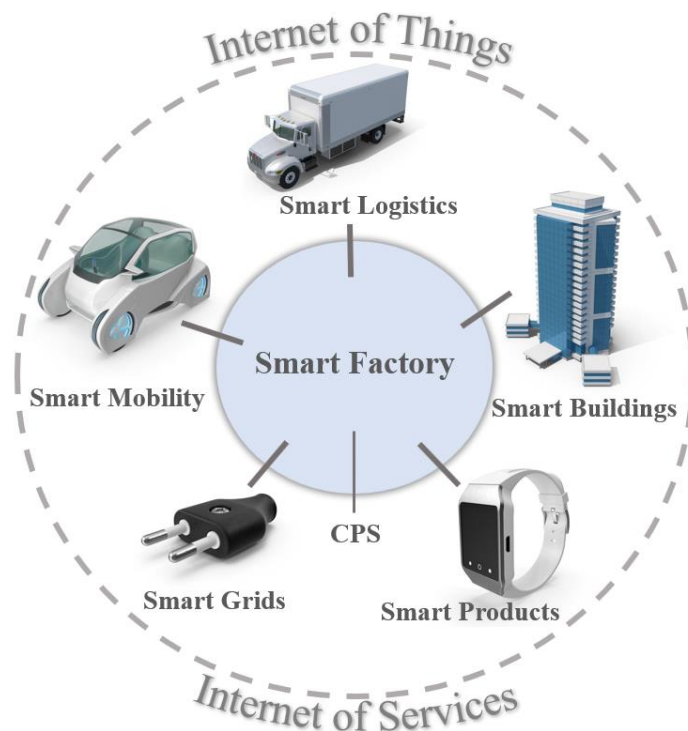


Figura 2.9 - Indústria 4.0 e as Fábricas inteligentes como parte da IoT e IoS
Adaptado de (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013)

De forma resumida, (Hermann, Pentek, & Otto, 2015) defendem que as fábricas inteligentes são organizadas numa estrutura modular, em que os processos são controlados e monitorizados por CPS (sistemas ciber-físicos) que tomam decisões descentralizadas. As tecnologias *IoT* (*Internet of Things* ou Internet das coisas) possibilitam a cooperação entre cada CPS dentro das Fábricas Inteligentes e os operadores em tempo real, enquanto as tecnologias *IoS* fornecem serviços internos e interorganizacionais ao longo de toda a cadeia de valor. Nesta linha, e já tendo sido abordada a IoT como um grande pilar da Indústria 4.0, no contexto das fábricas inteligentes, faz então sentido abordar os conceitos de CPS e de IoS.

Internet of Services (IoS)

Apesar de a literatura dar maior ênfase à *Internet of Things (IoT)* do que à *Internet of Services (IoS)*, a IoS é também considerada por vários autores como um dos pilares da Indústria 4.0. A IoS é baseada no conceito de que utilizadores privados ou empresas possam criar, combinar e oferecer novos tipos de serviços de valor acrescentado e disponibilizá-los através da *Internet* (Hofmann & Rüschi, 2017). A Indústria 4.0 influencia a mudança dos negócios orientados para produto, para os negócios orientados para o serviço (Alcácer & Cruz-Machado, 2019), o que é permitido e potenciado pela IoS. Este conceito trará novas oportunidades para a indústria dos serviços, pois gera a oportunidade de criar redes de negócios entre provedores de serviços e clientes (Pereira & Romero, 2017), permitindo monitorizar o estado do produto, e obter receitas durante todo o ciclo de vida, podendo tornar-se uma estratégia competitiva. Este conceito procura uma abordagem semelhante à da IoT, mas enquanto a IoT trata de objetos, sensores e máquinas tangíveis, a IoS abrange um conjunto mais abstrato de funcionalidades, trazendo os conceitos de Arquitetura Orientada aos Serviços (SOA) como um modelo lógico que reorganiza aplicações de software e infraestruturas, em serviços que interagem (Reis & Gonçalves, 2018), e com potencial para mudar profundamente a maneira como os serviços são prestados, permitindo uma maior criação de valor resultante da relação entre todos os *stakeholders* dentro da cadeia de valor (Cardoso, Voigt, & Winkler, 2008), (Pereira & Romero, 2017). Também os conceitos de *Software as a service* (SaaS) e de *business process outsourcing* (BPO) estão relacionados com a IoS (Hofmann & Rüschi, 2017).

Cyber-Physical Systems (CPS)

Os Sistemas Ciber-Físicos (CPS), considerados um dos pilares da Indústria 4.0, representam, segundo Monostori, et al. (2016), um dos avanços mais significativos em relação à ciência da computação e ao desenvolvimento de tecnologias da informação. Os CPS permitem a interação entre o ambiente físico e o virtual, integrando, controlado e coordenando processos e operações, e simultaneamente fornecendo e usando o acesso e o processamento de dados. De forma sintetizada, um CPS é um sistema que troca dados numa rede que permite a produção inteligente, e quando está conectado à Internet é frequentemente conhecido por IoT (Jazdi, 2014). A integração do CPS com o ambiente de fabricação permitirá a integração vertical e horizontal dos sistemas de TI e a interconexão entre toda a cadeia de abastecimento, tendo o potencial de transformar as fábricas de hoje em fábricas da Indústria 4.0 (Lee, Bagheri, & Kao, A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems, 2015). Alguns exemplos de CPS são sistemas de veículos inteligentes, monitorização médica, sistemas de controlo de processos, sistemas robóticos, pilotos automáticos de aviação, casas inteligentes, transportes inteligentes e cidades inteligentes. A Tabela 2.4 dá exemplos de processos e do uso

de tecnologias da Indústria 4.0 no contexto da Fábrica Inteligente.

Tabela 2.4 – Exemplos de processos no contexto da Fábrica Inteligente
Adaptado de (Burke et al., 2017)

Processo	Exemplos de oportunidades de digitalização
Operações de produção	▪ Uso de <i>Additive Manufacturing</i> para produzir protótipos rápidos ou peças de reposição com baixo volume ▪ Planeamento e agendamento avançados usando dados de produção e inventário em tempo real para minimizar o desperdício e o tempo do ciclo ▪ <i>Bots</i> cognitivos e <i>robots</i> autónomos para executar processos de rotina de forma eficaz, a um custo mínimo e com alta precisão
Operações de armazém	▪ Uso de Realidade Aumentada para auxiliar os trabalhadores nas tarefas de “<i>pick-and-place</i>” ▪ Uso de <i>robots</i> autónomos para executar operações de armazém
Controlo do <i>Stock</i>	▪ Uso de sensores para monitorizar movimentos e a localização de matérias-primas, <i>work-in-progress</i>, produtos acabados, e ferramentas de grande valor
Qualidade	▪ Testes de qualidade na linha usando análise ótica ▪ Monitorização de equipamentos em tempo real para prever possíveis problemas de qualidade
Manutenção	▪ Uso de Realidade Aumentada para auxiliar os trabalhadores na manutenção e reparação de equipamentos ▪ Uso de sensores nos equipamentos para conduzir análises de manutenção preditiva e cognitiva
Ambiente, saúde e segurança	▪ Uso de sensores para barrar equipamentos perigosos de operar em estreita proximidade com os trabalhadores ▪ Uso de sensores nos trabalhadores para monitorizar condições ambientais, falta de movimento ou outras potenciais ameaças

De forma a perceber de que forma é que os sistemas de fabrico tradicionais podem evoluir até alcançar o sistema de fabrico da Fábrica Inteligente, torna-se relevante entender quais são as lacunas entre os dois sistemas e de que forma é que a implementação das novas tecnologias características desta revolução podem impactar a indústria.

2.3.1 Lacunas entre os sistemas de produção tradicional e a Fábrica Inteligente

De acordo com Meng et al. (2018), “uma fábrica inteligente é uma solução de fabricação que fornece processos de produção flexíveis e adaptáveis, com potencial para resolver problemas que surjam no ambiente produtivo mutável e num mundo de complexidade crescente”. A Tabela 2.5

representa uma visão comparativa simplificada sugerida por estes autores sobre o sistema de produção tradicional e a fábrica inteligente.

Tabela 2.5 - Comparação entre o sistema de produção tradicional e a Fábrica Inteligente

Sistema de Produção tradicional	Fábrica Inteligente
Recursos restritos e pré-organizados	Múltiplos recursos
Rotas estáticas	Rotas dinâmicas
Sem interconexão	Interconexão instantânea
Controlo independente	Auto-organização
Informação isolada	<i>Big Data</i>

Tendo em conta os fatores mencionados, e apesar de existirem outros tipos de sistema de produção, os autores (Qin, Liu, & Grosvenor, 2016) definiram seis tipos gerais de sistemas de produção fundamentais sobre os quais a Indústria 4.0 foi concebida.

- **Single-station manned cells:** Sistema mais comumente usado, dando uso a um trabalhador por máquina. Necessita de pouco tempo e menos capital para ser implementado, e a sua instalação é mais fácil.
- **Single-station automated cells:** Sistema completamente automatizado, constituída tipicamente por uma ou mais máquinas automatizadas e um sistema automatizado de carregamento e descarregamento. Este tipo de sistema tem necessidade de auxílio de um trabalhador apenas de forma periódica. Tem menor custo de produção e maior produtividade relativamente à *single-station manned cell*.
- **Automated assembly system:** Este sistema usa robots industriais, que substituem o trabalho dos trabalhadores, e tem um sistema de montagem automatizada fixo, desenhado para cumprir uma programação fixa da ordem de montagem para um produto específico. Requer que o sistema seja estável e que não haja alterações no design do produto durante a produção. Este sistema tem capacidade de dar resposta a uma procura elevada.
- **Flexible manufacturing system:** A flexibilidade é o centro deste sistema, em que várias estações de trabalho estão conectadas a um sistema de transporte, controlado por um sistema computadorizado. As peças estão identificadas durante todo o ciclo de produção, e existe a capacidade de mudar o processo de forma imediata. Este sistema usa os equipamentos e os recursos de forma mais eficiente diminuindo o stock necessário, necessita de menos espaço e de um número mais reduzido de trabalhadores.
- **Computer-integrated manufacturing system:** Trata-se de um sistema de produção completamente automatizado, controlado por, pelo menos, dois computadores que trocam informações e caracterizado pela automação cooperativa. Este sistema é automatizado

desde o design, à gestão de recursos, linha de produção e distribuição. Existe maior capacidade de resposta com menos número de erros.

- **Reconfigurable manufacturing system:** Este sistema tem a capacidade de se ajustar às mudanças do mercado, ou a um requisito diferente na produção. Difere do sistema de produção flexível pois enquanto este visa a expansão da gama de produção do sistema, o sistema de produção reconfigurável pretende aumentar a variedade de requisitos de produção a que consegue dar resposta, dando maior ênfase à flexibilidade personalizada do que à flexibilidade de produção.

A fonte Figura 2.10 representa de forma simplificada a lacuna entre o sistema de produção tradicional e a Indústria 4.0, comparando-os através das características gerais dos sistemas de produção. A análise da figura permite concluir que, apesar de os sistemas de produção tradicionais serem capazes de ir ao encontro de algumas características da Indústria 4.0, ainda não alcançaram totalmente as suas potencialidades. É possível verificar que o Sistema de Produção Flexível e o Sistema de Produção Reconfigurável são os que mais se assemelham aos sistemas de produção da Indústria 4.0.

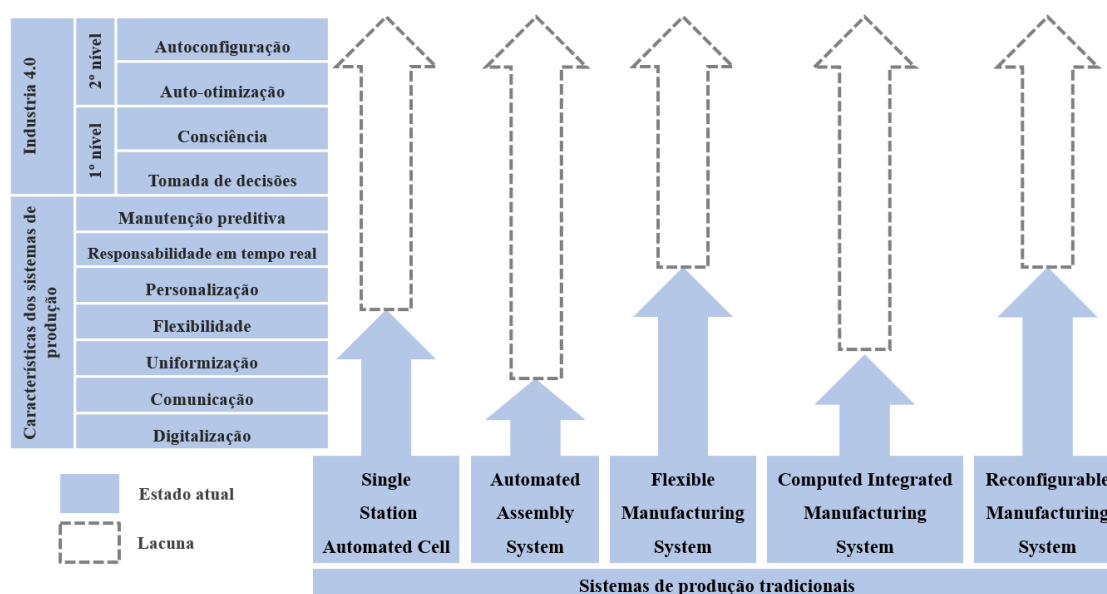


Figura 2.10 - Lacunas entre os sistemas de produção tradicionais e a Indústria 4.0

Adaptado de (Qin, Liu, & Grosvenor, 2016)

2.3.2 Melhorias necessárias para alcançar o potencial da fábrica inteligente

Depois de perceber quais são as lacunas entre os sistemas de produção a operar atualmente e os sistemas de produção que a Indústria 4.0 tem em vista, faz sentido analisar que mudanças e melhorias devem ser feitas para alcançar esse objetivo. Segundo Küpper et al. (2016), a fábrica do futuro ou fábrica inteligente é a visão de como a indústria da produção devia aprimorar a sua

produção, fazendo melhorias em três dimensões: Estrutura, Digitalização e Processos. Na Tabela 2.6 faz-se uma compilação das melhorias sugeridas.

Tabela 2.6 - Melhorias na Estrutura, Digitalização e nos Processos, para alcançar a Fábrica Inteligente

Melhorias na Estrutura
▪ Layout multidirecional: os produtos são colocados em sistemas de transporte sem motorista e guiados individualmente pela produção, comunicando com as máquinas ▪ Configuração modular da linha: a estrutura da fábrica possui módulos de linhas permutáveis e máquinas que podem ser facilmente reconfiguradas ▪ Produção sustentável: a fábrica inteligente é idealmente projetada para produção ecologicamente sustentável, fazendo uso eficiente de energia e recursos
Melhorias na Digitalização
▪ Instalação de robots inteligentes: a fábrica inteligente possui robots capazes de executar tarefas mais complexas do que os trabalhadores, e capazes de recolher informações sobre cada peça que é produzida e ajustar autonomamente as suas ações às características da peça ▪ Utilização de robots colaborativos: os robots podem colaborar com os trabalhadores sem barreiras protetoras ▪ Implementação de <i>additive manufacturing</i>: possibilidade de implementar impressão 3D de ferramentas e componentes ▪ Utilização de realidade aumentada: capacidade de o trabalhador visualizar informações em realidade aumentada, sobrepondo-se ao seu campo visual ▪ Aplicação de simulações da produção: uso de representações 3D da produção em tempo real de forma a otimizar os processos e o fluxo de materiais ▪ Desenvolvimento de sessões de formação imersivas: uso de simulações 3D como auxiliar do treino dos trabalhadores de forma que possam aprender num ambiente realista ▪ Implementação de produção descentralizada: uso de tecnologia avançada para permitir a comunicação entre trabalhadores, máquinas e equipamentos, criando um processo de produção autónomo ▪ Uso de <i>Big Data e Analytics</i>: capacita a empresa de analisar automaticamente uma grande quantidade de dados
Melhorias nos Processos
▪ Foco no cliente: uso de <i>big data e analytics</i>, por exemplo, para ter acesso à forma como os seus produtos são usados pelos clientes, e compreendendo melhor as necessidades dos mesmos. Os dados obtidos permitem também melhorar o design do produto e os processos produtivos através da experiência dos clientes ▪ Melhoria contínua: uso de tecnologias variadas de forma a acrescentar valor aos produtos e melhorar continuamente o processo produtivo

2.4 Estado de preparação mundial para o futuro da produção

Os modelos tradicionais de desenvolvimento industrial que funcionaram no passado, são agora desafiados com a introdução de tecnologias inovadoras como as da Indústria 4.0, que estimulam novas formas de produção e novos modelos de negócio que transformarão os sistemas globais de produção. Nesse sentido, torna-se importante perceber em que medida é que os países estão preparados para essas mudanças e para o futuro da produção. Assim, foi realizado um estudo comparativo (World Economic Forum, 2018), que incluiu 100 países e cobriu todas as regiões mundiais. Este estudo compara os países estudados através dos fatores considerados necessários para transformar os sistemas de produção, apresentados na Figura 2.11.



Figura 2.11 - Framework modelo de preparação para a Indústria 4.0

Fonte: (World Economic Forum, 2018)

Depois de atribuído um peso e pontuações a cada fator, os países analisados são atribuídos a um dos quadrantes representados na Figura 2.12: *Nascent*, *Legacy*, *High-Potential* ou *Leading*.

- ***Nascent***: países com uma base de produção limitada e que apresentam um nível baixo de preparação para o futuro por terem fraco desempenho nos fatores impulsionadores favoráveis à produção
- ***High-Potencial***: países com uma base atual de produção limitada que obtiveram bom desempenho no que toca aos fatores impulsionadores favoráveis à produção o que mostra que existe capacidade para aumentar a produção no futuro, dependendo das prioridades da economia nacional
- ***Legacy***: países com uma base atual de produção robusta que podem estar em risco no futuro por terem um fraco desempenho no que toca aos fatores impulsionadores favoráveis à produção
- ***Leading***: países com uma base atual de produção robusta e que revelam um alto nível de preparação para o futuro, pois apresentam um bom desempenho no que toca aos fatores impulsionadores favoráveis à produção



Figura 2.12 - Quadrantes definidos para construir o Mapa Global de Preparação para a Indústria 4.0

Fonte: (World Economic Forum, 2018)

Neste estudo, após a avaliação de cada país, obteve-se o Mapa Global de Preparação para a Indústria 4.0 onde é possível observar o posicionamento dos países representados pela cor da sua área geográfica.

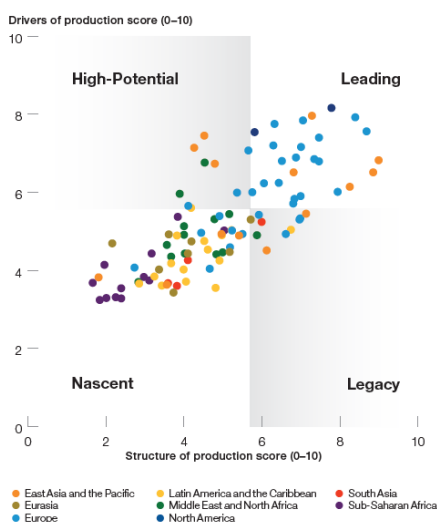


Figura 2.13 - Mapa Global de Preparação para a Indústria 4.0

Fonte: (World Economic Forum, 2018)

Foi possível notar que dentro dos “Leading Countries” ficaram posicionadas algumas potências mundiais como a China, a França, o Japão, a Alemanha, Reino Unido e os Estados Unidos da América. É também interessante verificar que Portugal se encontra posicionado em “High-Potential”, o que significa que poderá vir a estar bem posicionado no futuro.

2.5 Posicionamento de Portugal: Indústria 4.0, competitividade e digitalização

Para além de ter sido verificado no subcapítulo anterior que o *World Economic Forum* posiciona Portugal como um país com alto potencial no que toca ao futuro da produção, é possível complementar esses dados fazendo uma análise comparativa de Portugal relativamente a outros países no que toca à competitividade na indústria da produção através do ***Global Manufacturing Competitiveness Index***, no que toca à competitividade global através do ***Global Competitiveness Report***, e no que toca à digitalidade da economia e da sociedade através do ***The Digital Economy and Society Index***. Os dados dos relatórios mais recentes, foram compilados na

Tabela 2.7.

Tabela 2.7 - Análise dos *rankings* de competitividade (1º Lugar vs Portugal)

<i>Global Manufacturing Competitiveness Index (Deloitte)</i>		
2016	1º China	35º/40 Portugal
2020	1º Estados Unidos (previsão)	35º/40 Portugal (previsão)
<i>The Global Competitiveness Report (World Economic Forum)</i>		
2018	1º Estados Unidos	34º/180 Portugal
<i>The Digital Economy and Society Index (European Commission)</i>		
2020	1º Finlândia	19º/28 Portugal

Global Manufacturing Competitiveness Index

Segundo Deloitte (2016), à medida que a indústria da produção se torna cada vez mais avançada e sofisticada, os países com grande peso nesta indústria no século XX que investem continuamente no desenvolvimento de tecnologias avançadas de produção (Estados Unidos, Alemanha, Japão e Reino Unido), estão agora a ressurgir no *ranking* do ***Global Manufacturing Competitiveness Index***. Em 2016, Portugal encontra-se em 35º entre 40 países estudados, e espera-se que, em 2020, mantenha a posição. Este estudo também explora em detalhe as exportações de produtos com recurso a baixa, média e alta qualificação, e revela que a exportação de produtos produzidos com recurso a alta qualificação e tecnologia avançada são uma parte substancial das exportações gerais da produção destes países que subiram no *ranking* de

competitividade da produção desde o início da década (Figura 2.14). Assim, países que estão a investir significativamente em talento e na tecnologia, como os Estados Unidos, o Japão, a Alemanha e o Reino Unido, estão a melhorar a sua competitividade geral. Este estudo revela também que estes países estão a apostar no desenvolvimento de Fábricas e Produtos Inteligentes, revelando o seu interesse pela *Internet of Things*, *design* digital, simulação e integração, levando ao desenvolvimento e avanço da Indústria 4.0.

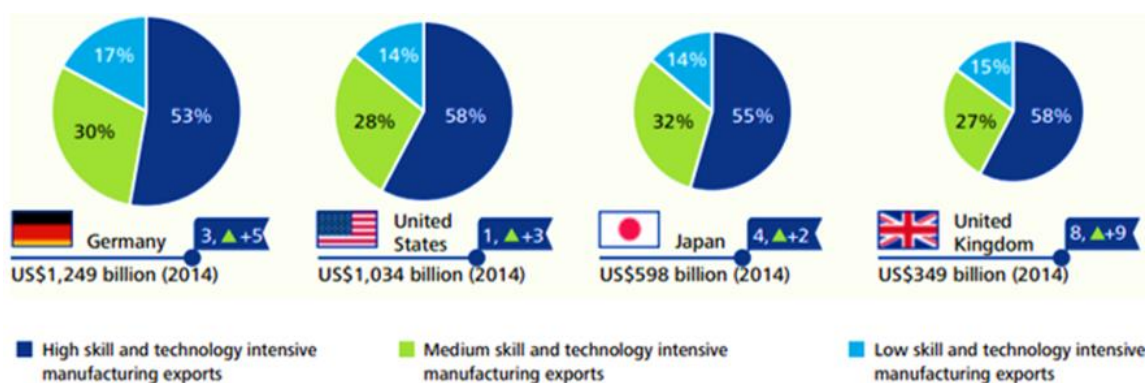


Figura 2.14 - Países com recurso a alta qualificação e tecnologia avançada
Fonte: (Deloitte, 2016)

The Global Competitiveness Report

Ao analisar os dados de Portugal, comparativamente aos restantes países estudados pelo ***The Global Competitiveness Report*** (World Economic Forum, 2018), é possível verificar que Portugal se encontra posicionado em 34º lugar em 180 países analisados, e que os Estados Unidos da América lideram a pontuação neste relatório sobre a competitividade global. Como é possível verificar na **Error! Reference source not found.**, a componente na qual Portugal apresenta melhor desempenho é no Capital Humano com uma pontuação de 82,3/100, que inclui os fatores Saúde (Esperança média de vida) e Competências (força de trabalho atual e futura na educação). Também é de notar que, com exceção dos fatores Dinamismo do Negócio e Mercado de Produtos, Portugal subiu ou manteve todas as suas pontuações relativamente à análise do ano anterior.

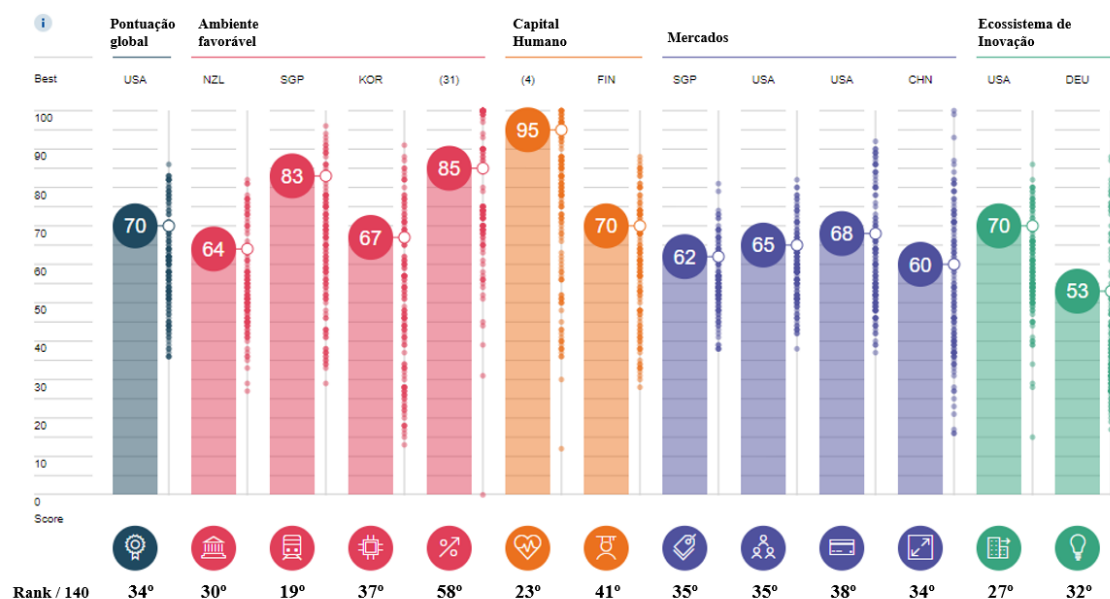


Figura 2.15 - Visão geral de desempenho de Portugal em 2018

Fonte: (World Economic Forum, 2018)

The Digital Economy and Society Index

A análise dos resultados do *The Digital Economy and Society Index* (European Commission, 2020) permite perceber que, em 2020, Portugal ocupa o 19º lugar entre os 28 Estados-Membros da UE no Índice de Digitalização da Economia e da Sociedade, como é possível observar na Figura 2.16. Em relação à edição anterior do IDES, Portugal melhorou a sua pontuação nas dimensões consideradas, mas não melhorou a sua classificação. A melhoria mais significativa foi a dimensão relativa à Conectividade, como se pode observar na Figura 2.17 que mostra a evolução de Portugal entre 2017 e 2020 nas cinco componentes estudadas. Apesar das melhorias, este relatório indica que Portugal tem um desempenho mais fraco em relação aos restantes países estudados no que toca ao Uso de Internet, à Integração de tecnologias digitais e, mais significativamente, no que toca ao Capital Humano.

Pode ver-se a partir da Figura 2.18, que apesar de Portugal ter vindo a manter ou a melhorar o seu desempenho desde 2015 no que toca ao Capital Humano, continua abaixo da média da União Europeia, o que revela uma necessidade de melhoria nesta área.

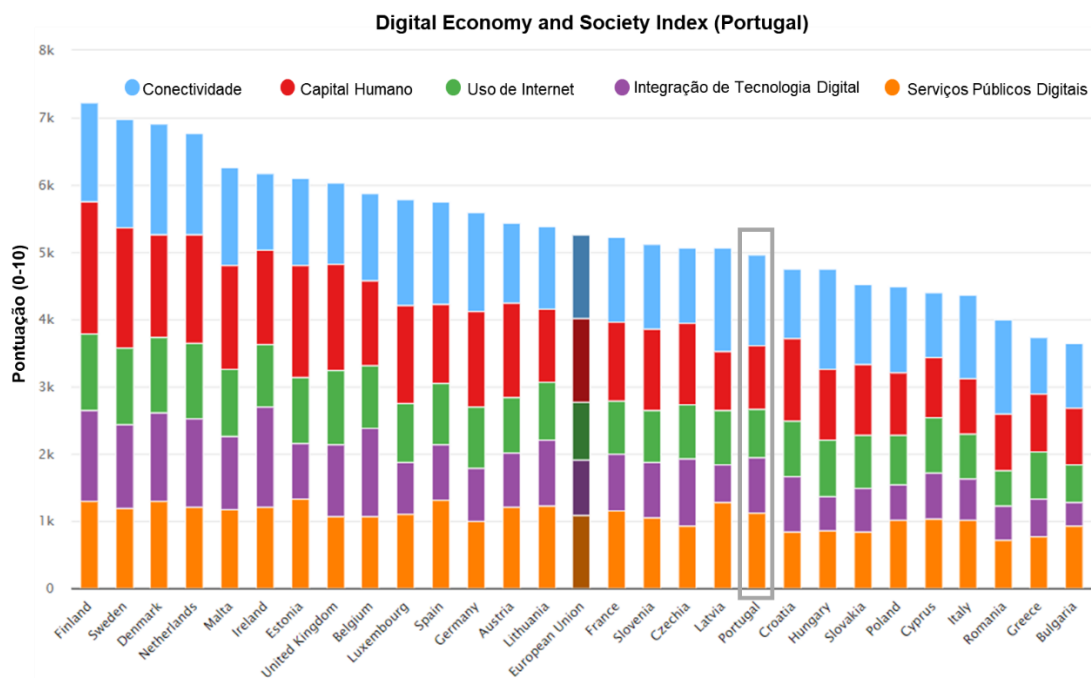


Figura 2.16 - Classificação do DESI (Digital Economy and Society Index) de 2020

Fonte: (European Commission, 2020)

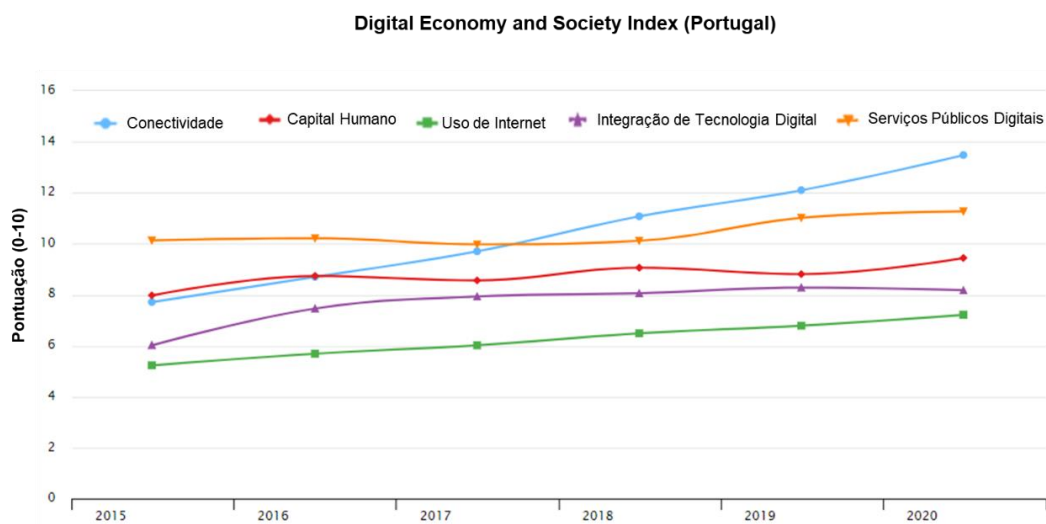


Figura 2.17 - Evolução do DESI em Portugal (2015-2020)

Fonte: (European Commission, 2020)

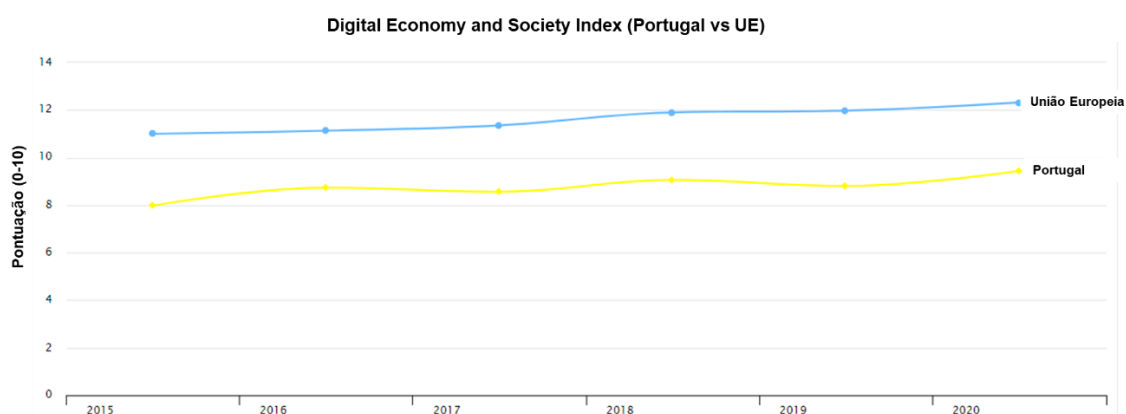


Figura 2.18 - Comparação da componente Capital Humano (Portugal vs UE)

Fonte: (European Commission, 2020)

2.6 Iniciativas institucionais e governamentais

2.6.1 Iniciativas

A importância e os impactos da Indústria 4.0 não ficam indiferentes às indústrias, às instituições, nem aos governos, que acabam por colocar parte dos seus esforços no desenvolvimento e na aplicação dos benefícios desta nova revolução industrial.

Em 2009 foi criada a **Associação Europeia de Investigação para as Fábricas do Futuro** (EFFRA), uma parceria público-privada que reúne mais de 150 grandes empresas europeias e a Comissão Europeia. Esta associação privada sem fins lucrativos dinamiza o financiamento à investigação de fábricas do futuro, e tem como principal missão a adaptação da indústria europeia à era digital (Indústria 4.0). Durante os últimos anos foram lançadas várias iniciativas na Europa com o objetivo de digitalizar a indústria, de entre as quais as mencionadas na Tabela 2.8.

Tabela 2.8 - Iniciativas Europeias para digitalizar a indústria

Fonte: (European Commission, 2018)

País	Iniciativa
Austria	Industrie 4.0 Oesterreich
Bélgica	Made different – Factories of the future
República Checa	Průmysl 4.0
Alemanha	Industrie 4.0
Dinamarca	Manufacturing Academu of Denmark (MADE)
Espanha	Industria Conectada 4.0
França	Alliance pour l'Industrie du Futur
Hungria	IPAR4.0 National Technology Initiative
Itália	Industria 4.0
Lituânia	Pramonė 4.0

Luxemburgo	Digital For Industry Luxembourg
Holanda	Smart Industry
Polónia	Initiative and Platform Industry 4.0
Portugal	Indústria 4.0
Reino Unido	Innovate UK
Suiça	Smart Industry

Outros governos, por todo o mundo, introduziram iniciativas no mesmo sentido, como é o caso dos Estados Unidos da América (AMP- *Advanced Manufacturing Partnerships* em 2011), da Coreia do Sul (*Innovation in Manufacturing 3.0* em 2014), da China (“*Internet Plus*” e “*Made in China 2025*” em 2015), Singapura (RIE – *Research, Innovation and Enterprise* em 2016) entre outros. A criação destas iniciativas mostra que os países desenvolvidos estão focados nos avanços tecnológicos e nos benefícios que podem advir da Indústria 4.0.

2.6.2 Iniciativas em Portugal

O Governo português aprovou em 2012 a **Agenda Portugal Digital** e atualizou a mesma através da Resolução do Conselho de Ministros nº22/2015 com objetivos orientados para o reforço da competitividade e da internacionalização das empresas nacionais, em especial das pequenas e médias empresas, através da inovação e do empreendedorismo qualificado. Com vista a tornar Portugal um país com empresas de elevado potencial de crescimento e de internacionalização, esta resolução reafirma a importância da utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) pelas empresas como um fator decisivo para o aumento da produtividade e da competitividade. Pretende-se assim disponibilizar serviços públicos de qualidade, com custos mais reduzidos para os cidadãos e empresas, e a preparação do país para um novo modelo de atividade económica centrado na inovação e na sociedade do conhecimento, com base para a disponibilização de novos produtos e serviços de maior valor acrescentado e direcionados para os mercados internacionais.

Em 2017 foi lançada pelo Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e à Inovação (IAPMEI) o **Guia de Informação Indústria 4.0: Sistemas de Incentivos à Economia Digital** apoiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) através do acordo de parceria existente entre Portugal e a Comissão Europeia denominado “Portugal 2020”.

Também a **Estratégia TIC 2020: Estratégia para a Transformação Digital na Administração Pública** foi lançada em 2017 e atualizada em 2018, e tem como base uma junção das TIC aos procedimentos administrativos, e pretende ir além da desmaterialização dos circuitos em papel, da automatização de algumas operações e da facilidade da comunicação através da *Internet*. Esta estratégia tem como objetivo permitir respostas mais rápidas e normalizadas neste setor, incluindo

a robótica e a inteligência artificial, tendo uma grande influência na organização e na forma como os serviços são prestados aos clientes. Tem como eixos a (1) integração e interoperabilidade, (2) inovação e competitividade (dando uso a tecnologias como *data analytics* ou inteligência artificial de forma a tratar os dados automaticamente, a realidade aumentada de forma a fazer protótipos dos serviços, e a *blockchain* para assegurar a proteção e integridade da informação e dados pessoais) e (3) partilha de recursos e investimento nas competências digitais (usando tecnologias de armazenamento em nuvem, para armazenar e processar informação de um modo distribuído e de acordo com as necessidades de cada momento).

Igualmente em 2017, foram lançadas em Portugal duas iniciativas políticas abrangentes sobre as competências digitais e a digitalização da economia: INCoDe.2030 e Indústria 4.0. A aplicação destas iniciativas ocorreu em 2018.

A **Iniciativa Nacional Competência Digitais e.2030, Portugal INCoDe.2030** é uma iniciativa integrada de política pública dedicada ao reforço de competências digitais. Como já foi abordado no subcapítulo anterior, segundo o *Digital Economy & Society Index* (European Commission, 2020), Portugal encontra-se abaixo da média europeia em termos de competências digitais, principalmente no que toca aos componentes Capital Humano e ao Uso da Internet, e por isso torna-se importante reforçar estas competências. Para tal, será necessário investir na qualificação da população jovem e requalificar os recursos humanos existentes, dando uso às infraestruturas de educação e formação existentes em Portugal e ao forte potencial dos seus recursos humanos. Surge assim esta iniciativa, que vê os seus principais desafios relacionados com a cidadania (acesso e utilização generalizados de literacia digital), emprego (estimular a empregabilidade, formação e especialização em tecnologias e aplicações digitais), e conhecimento (assegurar a participação em redes internacionais de I&D e a produção de conhecimentos nas áreas digitais).

A **Iniciativa Portugal i4.0** lançada pelo Ministério da Economia naquela que é a Estratégia Nacional para a Digitalização da Economia, de forma a gerar condições para o desenvolvimento da Indústria e serviços nacionais na era digital, identifica as necessidades do tecido industrial Português e orienta medidas públicas e privadas com vista a atingir os seguintes objetivos: (1) acelerar a adoção das tecnologias e conceitos da Indústria 4.0 no tecido empresarial português, (2) promover empresas tecnológicas portuguesas a nível internacional e (3) tornar Portugal um polo atrativo para o investimento no contexto da Indústria 4.0.

3. Futuro do trabalho e das competências

No presente capítulo é feita uma revisão de literatura relacionada com o futuro do trabalho, abordando a evolução do tipo de trabalho e a necessidade de reestruturação, a cooperação homem-máquina e o potencial da automação no futuro do trabalho, e de que forma é que o trabalho e os processos de negócio serão redefinidos. Posteriormente, aborda-se o futuro das competências, fazendo-se entender quais são as lacunas que levam à escassez de talento e aos desequilíbrios no mercado de trabalho. Compara-se a posição de Portugal relativamente aos países da OCDE, entende-se a importância da antecipação das competências necessárias para o futuro do trabalho e, por fim, aborda-se a previsão das competências necessárias para fazer face às necessidades futuras do mercado.

3.1 Contexto

Quando se fala da implementação da Indústria 4.0, não existe total consenso no que toca às consequências que esta revolução tecnológica industrial trará para o trabalho a nível global. Algumas fontes, como o *World Economic Forum* em *The Future of Jobs Report* (World Economic Forum, 2018) acreditam que a adoção deste paradigma pode resultar na diminuição do número de empregos disponíveis, já que 50% das empresas estudadas esperam que haja uma redução da sua força de trabalho até 2022, devido ao uso de automação e de *robots* com capacidade de realizar múltiplas tarefas em menos tempo. Pelo contrário, também há quem defenda que poderá haver um aumento da empregabilidade resultante desta adoção. Os mesmos autores (World Economic Forum, 2018) afirmam que 38% das empresas estudadas esperam ampliar a sua força de trabalho para novas funções com capacidade de aumentar a produtividade, e mais de 25% espera que a automação leve à criação de novas funções nas suas empresas. Assim, apesar de alguns tipos de trabalho pouco qualificados poderem ser eliminados, espera-se que um aumento na capacidade e na produtividade tenha um efeito positivo na criação de empregos, exigindo, no entanto, níveis mais elevados de qualificação e competências. Isto poderá trazer a necessidade de qualificar ou requalificar os trabalhadores existentes com as novas competências necessárias para trabalhar com este tipo de tecnologias, preparando-os para os novos requisitos, e também de reavaliar e reestruturar os perfis educacionais atuais, de forma a capacitar novos profissionais para dar resposta aos desafios desta revolução. Torna-se então relevante perceber o efeito que esta revolução terá nos postos de trabalho atuais, no tipo de trabalhos, na sua organização, e na consequente alteração das competências necessárias, com vista a antecipar o futuro do trabalho e as competências necessárias para o mesmo, e reduzir a lacuna entre as competências oferecidas pela atual força de trabalho e as competências necessárias no futuro. Espera-se que a antecipação das competências necessárias permita que formadores, professores, jovens, políticos, empregadores e trabalhadores façam melhores escolhas educacionais e de formação, e que através

de mecanismos institucionais e recursos de informação, se faça melhor uso das competências e do desenvolvimento do capital humano.

3.2 Fatores impulsionadores da mudança

Em simultâneo com a revolução tecnológica industrial na qual têm vindo a ser desenvolvidas tecnologias como a Inteligência Artificial, *machine learning*, robótica avançada, impressão 3D, entre outras, existe também um conjunto de desenvolvimentos que interagem e se intensificam, considerados como fatores impulsionadores da mudança, que influenciam os diferentes setores da economia, o futuro do trabalho e a evolução global da procura e da oferta de competências e, se não forem tidos em conta, poderão contribuir para a incompatibilidade de competências no futuro. Os fatores mais comumente identificados na literatura são, então, os fatores relacionados com o desenvolvimento tecnológico (como a automação e digitalização), fatores relacionados com o aspeto social (desenvolvimento demográfico, mudanças na organização do trabalho), com a intersecção entre o aspeto social a tecnológico (globalização, sustentabilidade ambiental), a urbanização, nível de escolaridade e volatilidade geopolítica (International Labour Office, 2015), (World Economic Forum, 2016), (Bakhshi et al., 2017), (Loshkareva et al., 2018). Também são mencionados fatores como a ética e privacidade (World Economic Forum, 2016), a desigualdade crescente (Bakhshi et al., 2017), e a aceleração (Loshkareva et al., 2018). A Tabela 3.1 compila e descreve os fatores mais mencionados.

Tabela 3.1 - Fatores impulsionadores da mudança

Fonte: (World Economic Forum, 2016), (Bakhshi et al., 2017), (International Labour Office, 2015), (Loshkareva et al., 2018)

Fator	Definição
Desenvolvimento tecnológico e inovação	O desenvolvimento tecnológico e a inovação aumentam a procura por competências de alto nível e aceleram a mudança na procura de competências. As competências tecnológicas são relevantes não apenas nos empregos mais qualificados que contribuem para a inovação, pesquisa e desenvolvimento, mas também entre os trabalhadores de operação e manutenção de novas tecnologias. A influência deste fator é sentida na indústria da tecnologia, mas também em áreas como serviços e atendimento ao cliente. Para além da influência do desenvolvimento de tecnologias como armazenamento em nuvem, computação e <i>Big Data</i> , IoT, robótica avançada, IA e <i>machine learning</i> , <i>advanced manufacturing</i> e impressão 3D, referem-se também como importantes as novas fontes de energia, <i>crowdsourcing</i> , <i>sharing economy</i> e plataformas <i>peer-to-peer</i> como fatores tecnológicos impulsionadores desta mudança.
Desenvolvimento demográfico	As mudanças demográficas influenciam a oferta de mão-de-obra de várias formas nos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Nos países desenvolvidos a população está a envelhecer, criando a necessidade de formar e melhorar as competências dos trabalhadores.

	Ao mesmo tempo, nos países em desenvolvimento espera-se uma maior quantidade de jovens a entrar no mercado de trabalho, que necessitarão de competências apropriadas para atrair e criar empregos.
Mudanças na organização do trabalho	O surgimento de formas novas e mais flexíveis de administrar empresas é complementado com o desenvolvimento de novas tecnologias que possibilitam inovações no local de trabalho, como trabalho remoto, espaços de trabalho conjunto e videoconferências. É provável que as organizações tenham um grupo cada vez menor de funcionários em tempo integral para funções fixas, sendo apoiados por colegas de outros países, consultores externos e pessoas contratadas para projetos específicos. Estas mudanças aumentam a procura por competências de trabalho em equipa, iniciativa, liderança, gestão e comunicação interpessoal e intercultural.
Globalização	As cadeias de valor, bens de consumo, conhecimento científico e códigos culturais surgem e existem num mundo ultra conectado, onde o papel da cooperação transnacional se intensifica; assim, através da globalização, a disponibilidade de trabalhadores qualificados com as competências adequadas tornou-se um fator determinante em muitas decisões de investimento estrangeiro. Para além disso, o trabalho tornou-se mais móvel internacionalmente, e um grande número de pessoas migra para onde existe disponibilidade de emprego.
Alterações climáticas e sustentabilidade ambiental	As alterações climáticas e a transição para a <i>green economy</i> ¹ criam uma crescente atenção por parte dos consumidores e fabricantes em relação ao bem-estar ambiental, que é acompanhada pela transformação do próprio conceito de respeito pelo ambiente. Isto tem influência na procura de competências através da introdução de novas tecnologias verdes, novas oportunidades de mercado em atividades económicas verdes, e de várias políticas e requisitos regulamentares. Estes processos alteram os requisitos de competências dentro dos trabalhos existentes, dando origem a novos trabalhos e novas necessidades de competências, aumentando a necessidade de melhorar as já existentes inclusivamente na consciencialização ambiental.
Rápida urbanização	Espera-se que a população urbana mundial duplique entre 2010 e 2050. Esse ritmo rápido e sem precedentes de urbanização, especialmente em mercados como China e África Subsaariana, traz consigo muitas oportunidades e desafios.
Aumento do nível de escolaridade	O aumento do nível de escolaridade nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, leva a que mais talento esteja disponível para os empregadores. No entanto, isto faz com que os trabalhadores menos qualificados tenham maior dificuldade em encontrar emprego num mercado de trabalho cada vez mais competitivo.

¹ Economia de baixa emissão de carbono, com eficiência de recursos e socialmente inclusiva, em que o crescimento do emprego é impulsionado pelo investimento público e privado em atividades económicas, infraestruturas e ativos que permitem a redução de emissões de carbono e poluição, maior eficiência energética e de recursos e prevenção da perda de biodiversidade.

Volatilidade geopolítica crescente	O cenário geopolítico está em constante mudança, com implicações para o comércio global e mobilidade de talentos, exigindo que as indústrias reajam e se adaptem mais rapidamente do que nunca.
Aceleração	Todas estas mudanças ocorrem sob a influência de uma metatendência comum que é a taxa crescente de mudança. As novas soluções tecnológicas e práticas sociais surgem a um ritmo cada vez mais rápido.

Apesar de estas mudanças terem um grande potencial na prosperidade futura e na criação de empregos, elas representam também grandes desafios, e à medida que as indústrias existentes se ajustam e novas indústrias são criadas, espera-se que em conjunto, estes desenvolvimentos tecnológicos, socioeconômicos, geopolíticos e demográficos e a interação entre eles, gerem novas categorias de empregos, e modifiquem parcial ou totalmente outros. Isto exige uma adaptação por parte das empresas, dos governos, da sociedade e das pessoas e leva à necessidade de ajuste das competências necessárias, da gestão e da regulamentação.

À luz dessas mudanças, embora a extensão e a natureza das mesmas sejam diferentes nos diferentes contextos dos países, dependendo de fatores internos, torna-se cada vez mais importante garantir que as competências dos trabalhadores estão alinhadas com as necessidades do mercado de trabalho.

3.3 Futuro do trabalho

A mudança global para o futuro do trabalho é definida por um conjunto cada vez maior de tecnologias, por novos setores e mercados, por sistemas econômicos globais que estão mais interconectados do que em qualquer outro ponto da história e por informação que circula cada vez mais rápido. No entanto, a última década de avanço tecnológico trouxe a possibilidade iminente de deslocamento em massa de empregos, escassez de competências e uma reivindicação da natureza da inteligência humana, agora desafiada pela inteligência artificial. A próxima década exigirá liderança com propósito para chegar a um futuro de trabalho que atenda ao potencial humano e crie uma prosperidade amplamente compartilhada. O desenvolvimento e melhoria das competências humanas do futuro através da educação, aprendizagem e trabalho são os principais motores do sucesso econômico, do bem-estar individual e da coesão social (World Economic Forum, 2020).

3.3.1 Evolução do tipo de trabalho e necessidade de reestruturação

Como foi referido anteriormente, a adoção do paradigma da Indústria 4.0 acarreta a necessidade de reestruturação dos tipos de trabalho, da organização e divisão do trabalho e das competências necessárias para dar resposta aos seus desafios. Enquanto no *design* tradicional de trabalho, as organizações têm posições fixas com funções definidas, “*standard jobs*” ou trabalhos padrão, às

quais se adicionam posições de gestão e supervisão, quando se automatizam partes do trabalho através de máquinas, o trabalho que resta para os trabalhadores requer competências geralmente mais interpretativas e orientadas a serviços, envolvendo competências como resolução de problemas, interpretação de dados, comunicação, atendimento ao cliente e empatia, trabalho de equipa e colaboração. No entanto, estas não são tarefas fixas como nos trabalhos tradicionais, e estão a forçar as organizações a criar posições e funções mais flexíveis, menos rígidas e em constante evolução. Segundo o relatório *Deloitte Global Human Capital Trends* (Deloitte, 2019), os empregos com maior procura atualmente, e com maior aceleração salarial são chamados de “*hybrid jobs*” ou trabalhos híbridos, e reúnem *hard skills* (ex: operações de tecnologia, análise e interpretação de dados) com *soft skills* (ex: comunicação, serviço, colaboração). Na evolução dos trabalhos híbridos, os autores (Deloitte, 2019) defendem o surgimento de “*super jobs*” ou super trabalhos, onde a tecnologia não só origina uma mudança na natureza das competências exigidas pelo trabalho, mas também na natureza do próprio trabalho. Assim, os super trabalhos combinam as *hard skills* e *soft skills* dos trabalhos híbridos, e parte dos trabalhos tradicionais, gerando posições de trabalho com potencial para gerar ganhos significativos em eficiência e produtividade, quando associado a máquinas inteligentes, ao uso de dados e algoritmos. A Figura 3.1 sintetiza a evolução dos tipos de trabalho.

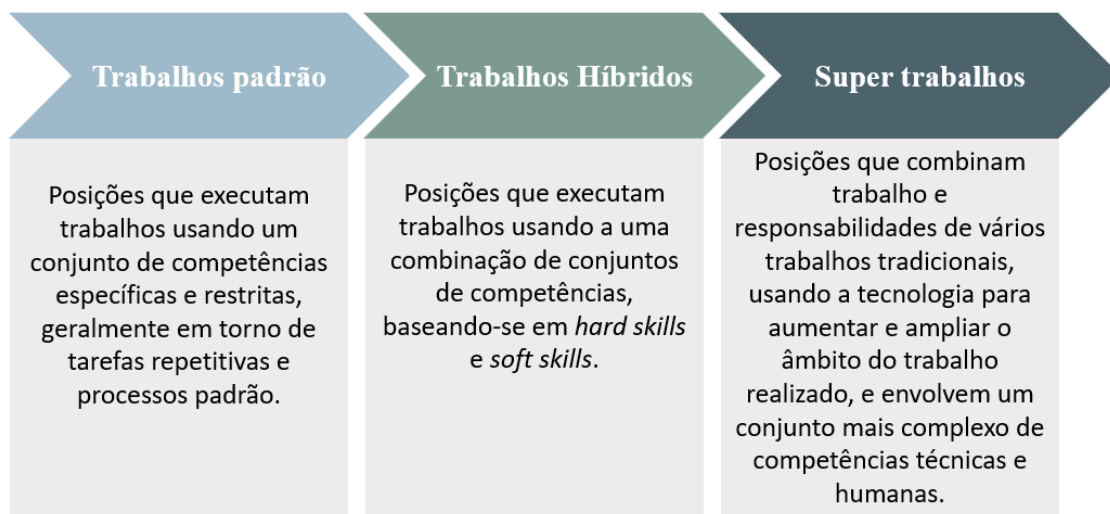


Figura 3.1 - Evolução dos tipos de trabalho

3.3.2 Cooperação homem-máquina e potencial da automação

A tecnologia de automação pode ajudar a remover a carga do trabalho administrativo e repetitivo e permitir que os funcionários se foquem na solução de problemas mais complexos, reduzindo o risco de erros e possibilitando que se concentrem em tarefas de valor agregado (Cognizant, 2015). Um estudo do WEF (World Economic Forum, 2018) fez uma estimativa de como a colaboração homem-máquina pode evoluir no tempo até 2022. Segundo este estudo, nas empresas atuais as

máquinas e os algoritmos complementam as competências humanas no que toca à informação e ao processamento de dados, suportam a execução de tarefas complexas e técnicas, e dão apoio em atividades de trabalho físico e manual. No entanto, algumas competências permaneceram até agora reservadas ao desempenho humano como a comunicação e interação, coordenação, desenvolvimento e gestão, assim como raciocínio e tomada de decisão. Segundo este estudo espera-se que até 2022 esta cooperação laboral entre o homem e as máquinas sofra alterações, como é possível verificar na Figura 3.2 . Prevê-se assim, um aumento de cerca de 57% na contribuição geral das máquinas e algoritmos para as tarefas de trabalho entre 2018 e 2022. De notar que se espera que o aumento da participação das máquinas no trabalho seja particularmente acentuado em tarefas de Raciocínio e tomada de decisão (de 19% para 28%), em Administração (de 28% para 44%) e na Procura e receção de informação relacionada com o trabalho (de 36% para 55%).

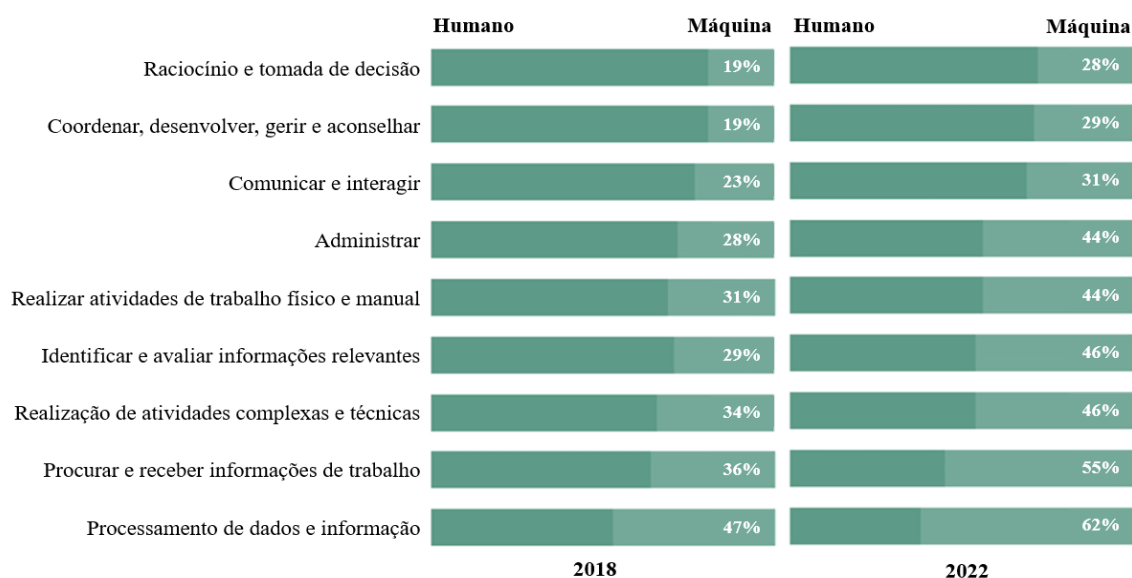


Figura 3.2 - Evolução da colaboração homem-máquina (2018 vs. 2022)

Fonte: Adaptado de (World Economic Forum, 2018)

Noutra perspetiva, um estudo da McKinsey (Chui, Manyika, & Miremadi, 2016) analisou mais de 2000 atividades de trabalho em cerca de 800 profissões, de forma a avaliar a percentagem de tempo gasto em atividades com potencial técnico para serem automatizadas, adaptando a tecnologia atualmente usada. Este estudo afirma que para que haja um aproveitamento ótimo do potencial da automação é necessária uma cooperação inteligente entre o homem e as máquinas. Revela, ainda, que menos de 5% das posições de trabalho podem ser inteiramente automatizadas usando tecnologia, e que cerca de 60% das posições de trabalho podem automatizar pelo menos 30% das tarefas que as constituem. Espera-se, então, que as posições de trabalho sejam mais transformadas do que automatizadas. Existem vários tipos de atividades nos diferentes setores

industriais com potencial técnico para serem automatizadas, mas esse potencial varia entre as atividades em questão. Como é possível verificar na Tabela 3.2, as atividades mais suscetíveis de ser automatizadas são tarefas físicas realizadas em ambientes estruturados e previsíveis, assim como tarefas de recolha e processamento de dados, tarefas essas que são mais prevalentes na indústria da produção, nos serviços de alojamento e restauração, e no retalho. No entanto, o potencial da automação não se restringe apenas ao trabalho pouco qualificado e com baixos salários. As profissões de remuneração média/alta e com trabalhadores qualificados também têm potencial de automação, e à medida que os processos são transformados pela automação de atividades individuais, os trabalhadores executam atividades que complementam o trabalho das máquinas e vice-versa.

Tabela 3.2 - Potencial de automação por tipo de atividade
Adaptado de (Chui, Manyika, & Miremadi, 2016)

Tipo de atividade	Tempo gasto por atividade, %	Potencial de automação, % tempo
Trabalho físico previsível	18%	78%
Processamento de dados	16%	69%
Recolha de dados	17%	64%
Trabalho físico imprevisível	12%	25%
Interação com <i>stakeholders</i>	16%	20%
Aplicação de conhecimento	14%	18%
Gestão de outros	7%	9%

Ao analisar o potencial de automação por setor, aferiu-se que no que toca à indústria da produção de bens, a extração de recursos é o setor no qual os trabalhadores gastam a maior percentagem de tempo (63%) a realizar atividades que poderiam ser automatizadas. Já na indústria dos serviços, os serviços de alojamento e restauração são os que têm maior percentagem de tempo gasto em atividades com potencial para serem automatizadas (75%), como é possível observar na Tabela 3.3.

Em termos temporais, os cenários do estudo realizado por (Chui, Manyika, & Miremadi, 2016) sugerem que metade das atividades de trabalho podem ser automatizadas até 2055. No entanto, isto pode acontecer até 20 anos antes ou depois, dependendo de vários fatores e de condições económicas. O ritmo e a extensão da automação dependem de cinco fatores (Chui, Manyika, & Miremadi, 2016), (Manyika, et al., 2017):

- (1) **Viabilidade técnica**, pois a tecnologia tem de ser criada, integrada e adaptada a soluções que automatizam atividades específicas. É uma condição prévia necessária para a automação, mas não é um fator preditor completo de que uma atividade será automatizada;

- (2) **Custos de desenvolvimento e implementação** de hardware e software para automação;
- (3) **Custo de mão de obra e dinâmica de oferta e procura:** se existir oferta abundante de trabalhadores e significativamente mais barata que o custo de automação, esse pode ser um argumento decisivo contra a mesma;
- (4) **Benefícios da automação** além da substituição de mão-de-obra, como níveis mais altos de produção, melhor qualidade e menos erros. Geralmente estes benefícios são maiores do que os da redução de custos de mão-de-obra;
- (5) **Considerações regulamentares e de aceitação social,** como o grau em que as máquinas são aceites em qualquer ambiente específico.

Tabela 3.3 - Potencial de automação por setor

Fonte: Adaptado de (Chui, Manyika, & Miremadi, 2016)

Indústria	Setor	Porcentagem de tempo
Produção de bens	Extração de recursos	63%
	Construção	49%
	Produção	30%
Serviços	Alojamento e restauração	75%
	Tecnologia, media, telecomunicações	51%
	Artes, entretenimento e recreação	47%
	Retalho, comércio e transporte	42%
	Serviços – profissionais e outros	40%
	Finanças e seguros	37%
	Cuidados de saúde e assistência social	36%
	Serviços de educação	35%
	Serviços administrativos e governo	31%

Para que o potencial da automação se firme num determinado setor, é necessária uma interação entre estes fatores descritos, e as compensações entre eles. No que toca às consequências da automação de atividades, a cooperação homem-máquina cada vez mais integrada irá exigir uma capacidade analítica de desconstrução do trabalho realizado nas organizações, vendo as tarefas de trabalho das funções atuais como componentes independentes, para serem posteriormente reconfiguradas e reorganizadas de forma a revelar oportunidades de cooperação homem-máquina mais eficientes, eficazes e com maior impacto (Harvard Business Review, 2017).

Apesar de os efeitos da automação poderem ser lentos num nível macro, ou seja, dentro de setores inteiros ou economias, podem ser bastante rápidos num nível micro, para trabalhadores individuais cujas atividades são automatizadas ou para empresas cujas indústrias são desafiadas por concorrentes que usam a automação. Estas alterações têm potencial para gerar um aumento na produtividade dos trabalhadores, permitindo que eles se foquem em atividades de valor

acrescentado, e que contribuam para a empresa com as competências que distinguem o ser humano. Por outro lado, de forma a tirar proveito dos benefícios desta cooperação, os trabalhadores necessitam de ter as competências necessárias que lhes permitam prosperar neste tipo de trabalhos do futuro. Assim, tendo em conta o ritmo acelerado de avanço tecnológico, é essencial contratar profissionais capacitados, adaptar a educação dos trabalhadores futuros às competências necessárias, requalificar os trabalhadores atuais e manter a qualificação um processo contínuo.

3.4 Futuro das competências

Apesar do crescente investimento na educação e do aumento da escolaridade, existe uma lacuna a nível global entre as competências necessárias e as competências disponíveis na força de trabalho atual. Em 2018, 45% dos empregadores estudados a nível global (ManPowerGroup, 2018) afirmaram ter dificuldade em preencher vagas de trabalho devido à falta de candidatos qualificados e, ao mesmo tempo, mais de 73 milhões de jovens a nível global estão desempregados (ILO, 2015a). Um estudo da McKinsey (McKinsey Global Institute, 2012) antecipou que até 2020 haveria uma escassez global de 40 milhões de trabalhadores com formação superior, e um défice de 45 milhões de trabalhadores com ensino secundário e formação profissional para empregos de manufatura e serviços. Esta lacuna e incompatibilidade de competências gera altos custos económicos e sociais a vários níveis – individual, comercial e governamental – e é tanto um resultado como uma causa contributiva para o desemprego estrutural (International Labour Office, 2015).

3.4.1 Lacunas nas competências e escassez de talento

Dificuldade em preencher vagas

Apesar do crescimento da economia global, que deixa os empregadores otimistas em relação à contratação de novos talentos, as tecnologias emergentes e as necessidades de mudança das competências dos trabalhadores têm vindo causar desequilíbrios entre a procura e a oferta de competências e, logo, a dificultar o preenchimento das suas vagas de trabalho, deixando funções não preenchidas e ameaçando a produtividade, a eficiência e o crescimento futuro. Enquanto as empresas procuram trabalhadores com as competências adequadas para trabalhar com novas ferramentas e tecnologias, os trabalhadores têm dificuldade em encontrar empregos que correspondam às suas competências. A incompatibilidade entre a oferta e a procura de competências pode surgir na forma de escassez de competências – quando é difícil encontrar profissionais com competências adequadas para o mercado de trabalho atual – ou na forma de excesso de competências – quando certas competências excedem a procura do mercado de trabalho. Ambas as situações revelam um uso não apropriado das competências dos trabalhadores. Estes desequilíbrios de compatibilidade têm efeitos negativos na economia, nas empresas e nos

trabalhadores individuais, porque diminuem a adoção de novas tecnologias, atrasam a produção, aumentam a rotatividade de mão-de-obra e reduzem a produtividade e os potenciais ganhos. O *Talent Shortage Survey* (ManPowerGroup, 2018) revela que em 2018 foi alcançado o valor mais alto de escassez de talento dos últimos 12 anos - como é possível verificar na Figura 3.3 - sendo que, neste ano, 45% dos empregadores a nível global não conseguiram encontrar os trabalhadores com as competências que precisam. Empregadores no Japão (89%), România (81%) e Taiwan (78%) têm maior dificuldade em preencher vagas, enquanto países como o UK (19%), Irlanda (18%) e a China (12%) têm menor dificuldade. Em Portugal, este valor encontra-se acima da média, com 46%. No que toca às grandes organizações (+250 trabalhadores) este valor chega aos 67% a nível global em 2018.

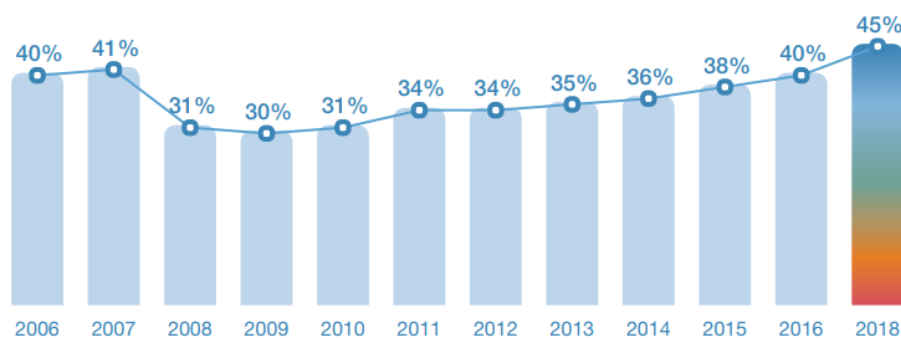


Figura 3.3 - Escassez de talento a nível global (2006-2018)

Fonte: (ManPowerGroup, 2018)

Dados do relatório *Talent Shortage 2020: Closing the Skills Gap* (ManPowerGroup, 2019) revelam que a escassez de talento aumentou novamente neste ano para 54%, mantendo Portugal acima da média global com um valor de 57%. A tecnologia está, não só a substituir, mas também a redefinir algumas das funções existentes e, assim, alguns empregadores têm dificuldades em encontrar trabalhadores qualificados para os cargos. Este estudo (ManPowerGroup, 2018) revelou também os principais fatores que levam à dificuldade em preencher cargos, como é possível verificar na Figura 3.4, onde se faz uma comparação entre os fatores globais com os fatores em Portugal.

Torna-se possível perceber que em ambos os casos, a falta de candidatos para as vagas, a falta de experiência dos candidatos e o facto de os candidatos não possuírem tanto as *hard skills* como as *soft skills* pretendidas pelo empregador são os fatores mais críticos. Este estudo afirma, ainda, que as empresas consideram que procuram num candidato uma fusão ótima entre *soft skills* e *hard skills*. Assim, 64% dos empregadores estudados estão a investir nas *hard skills* dos seus trabalhadores através de certificações técnicas, estágios e cursos de programação, e 56% em *soft skills* como atendimento ao cliente, vendas e comunicação.

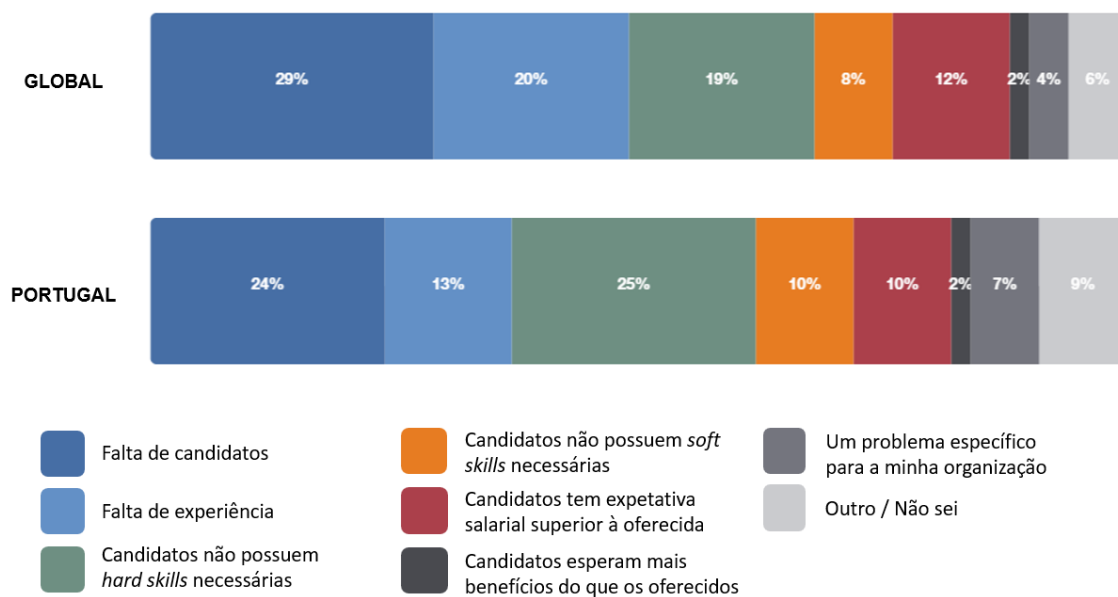


Figura 3.4 - Principais fatores que levam à escassez de talento (Globais e em Portugal)

Fonte: Adaptado de (ManPowerGroup, 2018):

Quais vagas são mais difíceis de preencher?

Segundo ManPowerGroup (2018), os cargos especializados (eletricistas, soldadores, mecânicos, representantes de vendas, engenheiros e técnicos), estão entre as posições mais difíceis de preencher a nível global em 2018. Em Portugal, estes cargos também estão entre os mais difíceis de preencher. Estes dados são corroborados pelo estudo *Skills for Jobs* (OCDE, 2018), que revela que em média nos países da OCDE, mais de 5 em 10 vagas de emprego que são difíceis de preencher são para postos de trabalho altamente qualificados, e menos de 1 em cada 10 vagas de emprego difíceis de preencher são para trabalhos pouco qualificados - Figura 3.5.

O estudo sugere ainda que existe uma relação negativa entre o risco de automação e a escassez de competências no mercado de trabalho. Ou seja, nos países estudados, os empregos que têm um alto risco de automação são, em média, excedentes (a oferta de mão-de-obra é maior do que a procura pelo mercado de trabalho). Por outro lado, os empregos em déficit crítico (em que a procura de mão-de-obra é maior do que a oferta) enfrentam menor risco de serem automatizados. Consequentemente, os desafios decorrentes da automação exigem ações políticas direcionadas, projetadas para formar os trabalhadores pouco qualificados com as ferramentas necessárias para superar estas mudanças e garantir que não são deslocados ou excluídos do mercado de trabalho num futuro próximo.

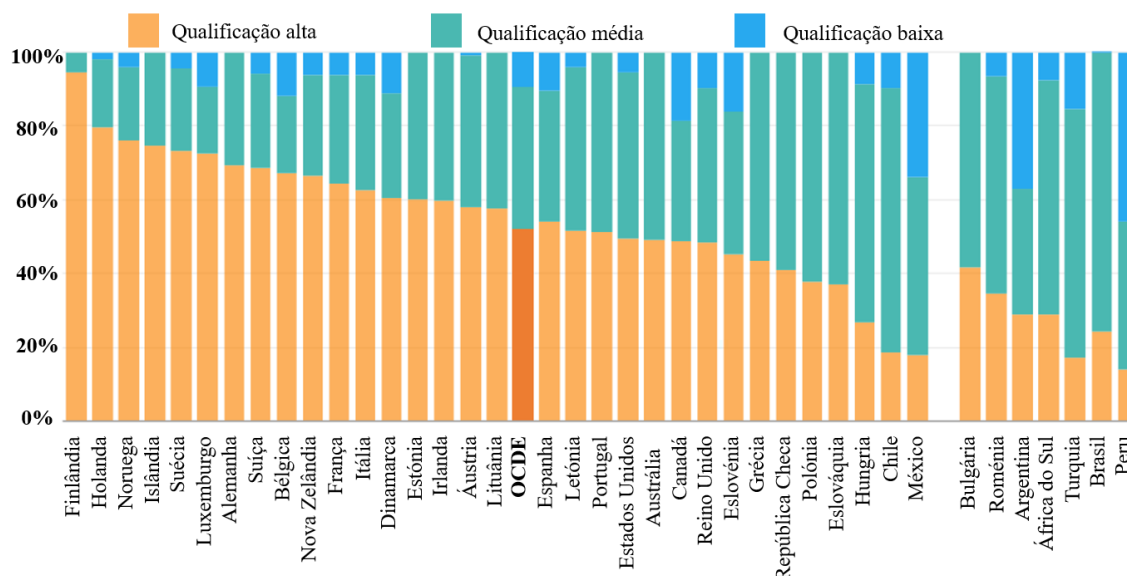


Figura 3.5 - Percentagem de empregos com alta procura por nível de qualificação
Adaptado de (OCDE, 2018)

3.4.2 Desequilíbrios no mercado de trabalho

O rápido desenvolvimento tecnológico traz consigo uma inevitável incompatibilidade entre as competências que o mercado de trabalho procura e as competências oferecidas pela força de trabalho, e cria a necessidade de um desenvolvimento contínuo de competências que só pode ser alcançado com algum atraso. No entanto, segundo OCDE (2018), incompatibilidades persistentes podem ser sintomas de que os mercados de trabalho estão a funcionar abaixo do nível ótimo, e alguns países são mais eficientes do que outros a reagir a este desafio e a nivelar a oferta e a procura de competências no mercado de trabalho. Países em que várias profissões estão em excesso e/ou em défice crítico, apresentam um grau relativamente alto de desequilíbrio do mercado de trabalho, o que na prática significa que muitos empregadores têm dificuldade em encontrar trabalhadores com competências adequadas (défice), e muitos trabalhadores enfrentam uma procura reduzida pelas suas competências (excesso).

Sabe-se, então, que um país com um elevado grau de desequilíbrio é pouco eficiente a reagir de forma a fazer corresponder as competências dos trabalhadores às necessidades do mercado de trabalho. **Mas quais são as consequências deste desequilíbrio, e qual é a sua relação com a qualidade das competências?** Apresentam-se abaixo alguns dados, sumarizados na Figura 3.6.

- Existe uma correlação negativa entre a capacidade de os países desenvolverem competências fundamentais como a alfabetização e a numeracia, e os desequilíbrios no mercado de trabalho (OCDE, 2016)
- Existe uma correlação forte e negativa entre a capacidade de os países desenvolverem competências tecnologicamente relevantes os desequilíbrios no mercado de trabalho (OCDE, 2016)

2016)

- Os países onde os sistemas de educação criaram condições favoráveis ao desenvolvimento de competências, são aqueles em que os desequilíbrios do mercado são mais baixos (OCDE, 2018)
- Existe uma correlação negativa entre a proficiência média de competências da população adulta de um país e a magnitude dos desequilíbrios no mercado de trabalho (OCDE, 2018)
- Os países com desequilíbrios mais acentuados no mercado de trabalho, apresentam níveis mais baixos de produtividade, como a Grécia, Lituânia e a Eslováquia onde os PIB por hora trabalhada estão abaixo da média e os desequilíbrios ocupacionais são dos mais elevados. E países com níveis mais altos de produtividade apresentam desequilíbrios mais baixos (Adalet McGowan & D. Andrews, 2017).

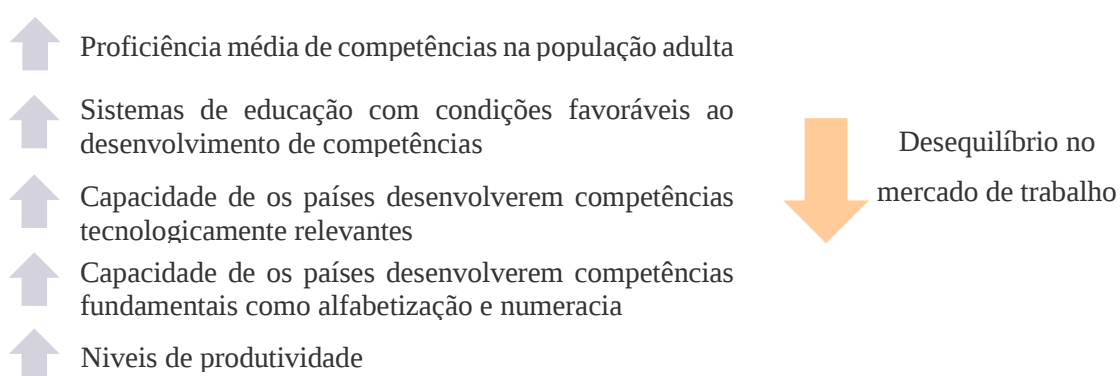


Figura 3.6 - Correlação entre a qualidade do sistema educativo, as competências e a produtividade com o desequilíbrio do mercado de trabalho

Assim, sistemas de educação de qualidade, que criam condições favoráveis ao desenvolvimento de competências (fundamentais e tecnologicamente relevantes), aumentando a proficiência média de competências da população adulta, fomentam a criação de mercados de trabalho mais eficientes de forma nivelar a procura e a oferta de competências. Apesar de esta não ser uma consequência direta (Adalet McGowan & D. Andrews, 2017), observa-se a existência de uma relação entre um maior equilíbrio entre a procura e da oferta de competências, e níveis elevados de produtividade no país. Portanto, o desenvolvimento e atualização dos sistemas de educação poderão ter impacto na lacuna existente entre as competências que o mercado de trabalho procura, e as competências da força de trabalho atual. Mais do que isso, poderá ter influência na produtividade do país.

3.4.3 Competências, conhecimento e capacidades: comparação entre Portugal e a OCDE

O rápido desenvolvimento tecnológico e o aumento da digitalização na produção e no setor dos serviços têm pressionado as empresas a procurar trabalhadores com competências digitais e conhecimento nas TIC. Para além disso, espera-se que estas tendências tecnológicas exijam cada vez mais trabalhadores com competências cognitivas de alto nível e de trabalho não repetitivo, capazes de lidar com tarefas imprevisíveis e não automatizáveis e, ao mesmo tempo, capazes de comunicar e entender claramente novas ideias e conceitos. O estudo da OCDE, *Skills for Jobs* (OCDE, 2018), confirma as tendências mencionadas. Em média, na OCDE e nos países da UE, a escassez é maior no que toca ao conhecimento sobre Eletrónica e Computadores (*hardware, software, programação e aplicações*), seguida de uma procura substancial por competências de sentido crítico, tomada de decisão e capacidades verbais.

Os resultados deste estudo permitem fazer uma análise comparativa entre Portugal e a média da OCDE no que toca à escassez e excesso de competências, capacidades e conhecimento. Existem diversas competências e áreas de conhecimento que estão em escassez em Portugal, e é de notar que em muitas delas a escassez é mais intensa em Portugal do que na média da OCDE, como é possível verificar na Figura 3.7 e na Figura 3.8. As áreas de conhecimento com maior escassez em Portugal são Educação e Formação, Psicologia e Eletrónica e Computadores (OCDE, 2018). As capacidades com maior escassez em Portugal são as verbais e de raciocínio, enquanto a força e a resistência física são as capacidades em excesso - Figura 3.9. Em Portugal, 51% dos empregos que enfrentam escassez de talento (os empregadores têm dificuldade em encontrar candidatos com as competências pretendidas) são empregos altamente qualificados, e 49% são medianamente qualificados, como se pode ver na Figura 3.10. Não se verificou escassez de talento para trabalhos de baixa qualificação em Portugal. Os setores com maior escassez são o setor da Educação e o setor da Informação e Comunicação e os setores com maior excesso são a Construção e os Serviços de alojamento e restauração. No que toca à incompatibilidade de qualificações, em Portugal 24% dos trabalhadores tem mais qualificações do que as necessárias para os requisitos do seu trabalho, e 18% dos trabalhadores tem menos qualificações do que as necessárias. Existem ainda incompatibilidades no campo dos estudos adquiridos pelos trabalhadores, sendo que mais de 70% dos trabalhadores que trabalham na área de Engenharia, Produção e Construção, e mais de 50% dos trabalhadores na área das TIC especializaram a sua educação em áreas diferentes das em que trabalham.

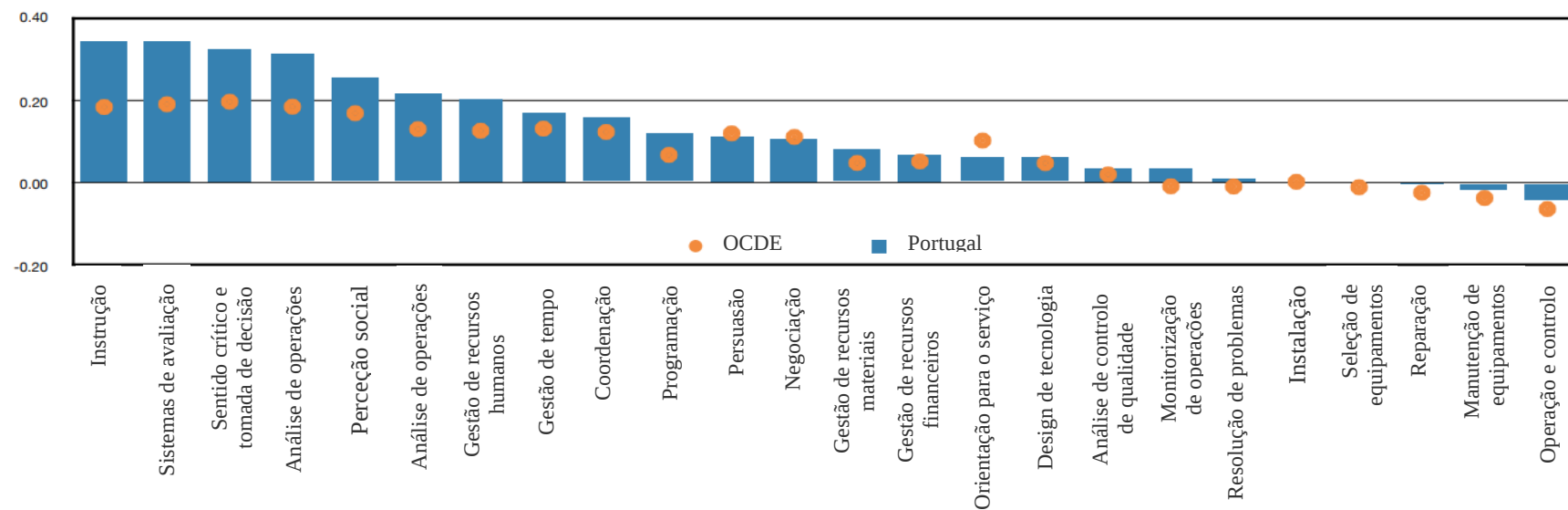


Figura 3.7 - Competências: Comparação entre Portugal e a média da OCDE (OCDE, 2018)

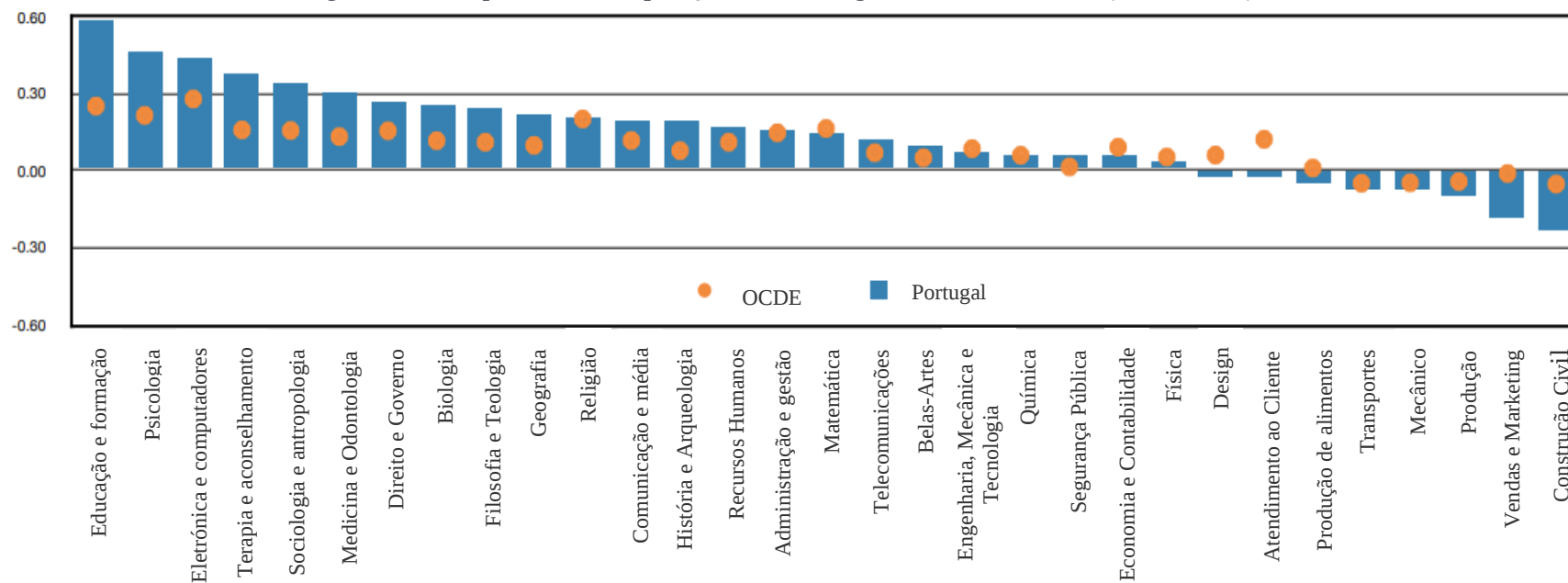


Figura 3.8 – Áreas de conhecimento: Comparação entre Portugal e a média da OCDE (OCDE, 2018)

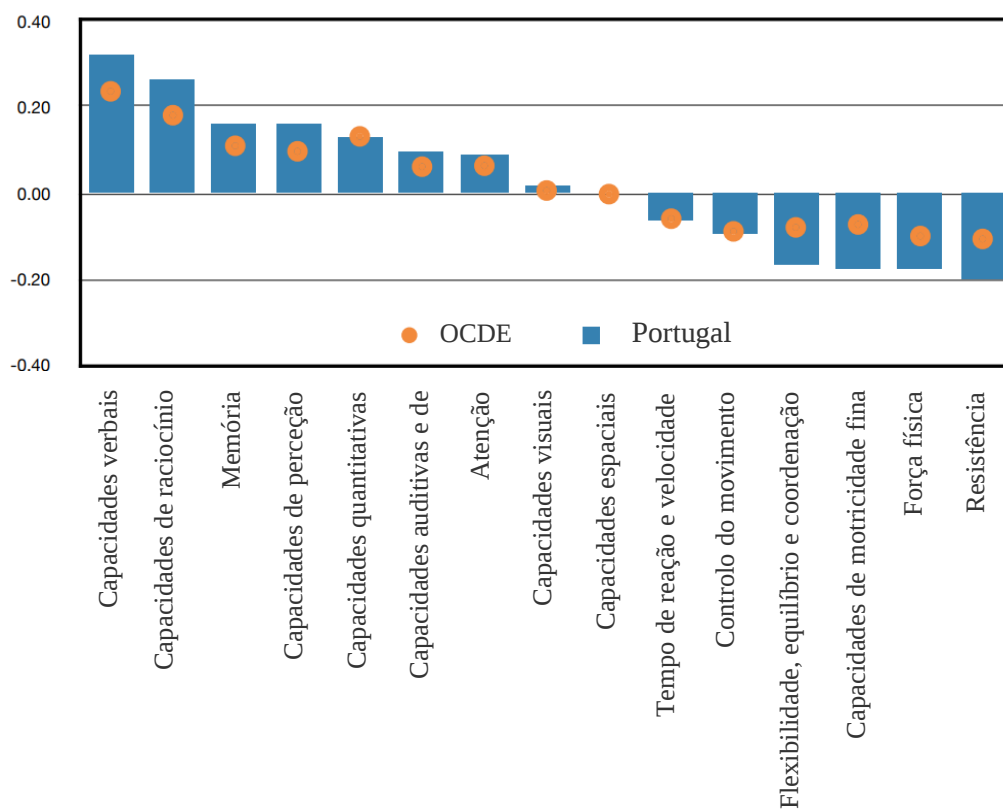


Figura 3.9 - Capacidades: Comparação entre Portugal e a média da OCDE

Fonte: (OCDE, 2018)

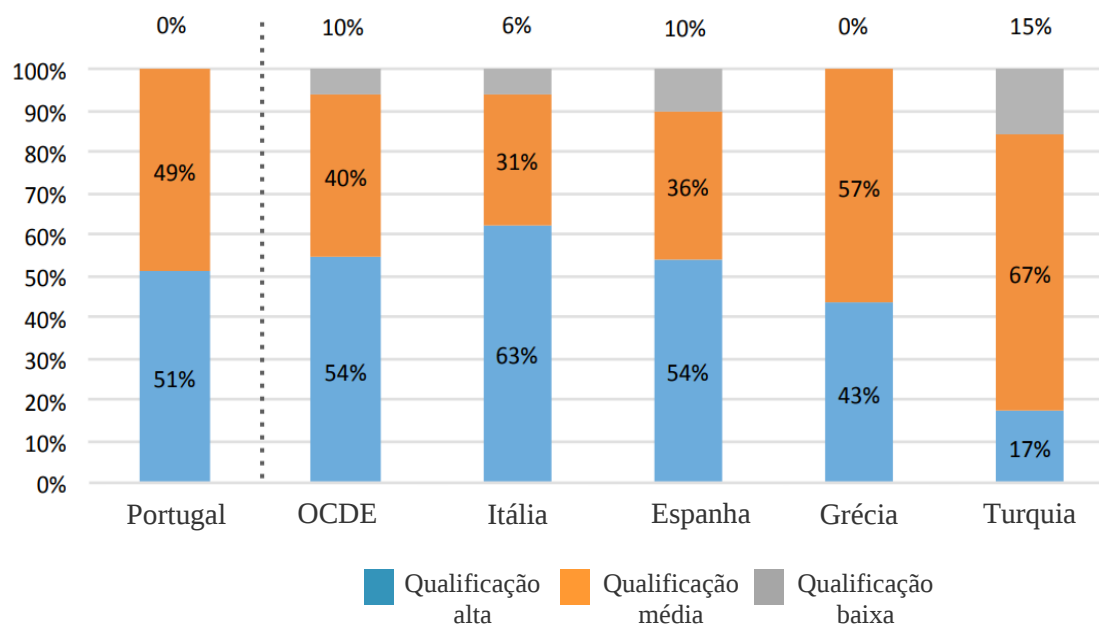


Figura 3.10 - Tipo de qualificação dos trabalhos com alta procura

3.4.4 Importância da antecipação das competências necessárias para o futuro do trabalho

Como consequência da evolução tecnológica e da automação de processos, a interação homem-máquina irá acontecer de forma mais intensa como parte das atividades diárias, e espera-se que a integração da tecnologia avançada no trabalho liberte os trabalhadores das tarefas repetitivas e automatizáveis e que permita que se foquem em atividades de valor acrescentado, que não podem ser automatizadas. Assim, tendo em conta os novos requisitos e variáveis de capital humano, o ritmo rápido da inovação coloca o capital humano como um fator importante nas estratégias corporativas. Por um lado, as empresas precisam de reorganizar o trabalho dos seus trabalhadores e de lhes dar formação, fomentando a criação das competências necessárias para realizarem as tarefas de trabalho. Por outro lado, durante a formação dos jovens que serão a futura força de trabalho e no sentido de se tomarem as melhores decisões de carreira, é importante estar alerta acerca das competências que serão mais úteis e necessárias na perspetiva do mercado de trabalho. Durante as revoluções industriais anteriores, foram necessárias décadas para que se desenvolvessem e implementassem sistemas de formação adequados para dar resposta em larga escala às necessidades de competências. No entanto, devido ao ritmo acelerado e à intensidade da disrupção causada pela 4ª Revolução Industrial, isso pode não ser uma opção. Segundo International Labour Office (2015), a mudança na procura de competências é mais rápida do que a formação para dar resposta à necessidade das mesmas (Figura 3.11), afirmação que é corroborada por World Economic Forum (2016) que refere que quase 50% do conhecimento adquirido durante o primeiro ano de um curso técnico de 4 anos, se torna desatualizado no ano em que os alunos acabam o curso. Por isso, é essencial haver uma antecipação sistemática das necessidades de competências, de forma que os sistemas de educação estejam informados com antecedência suficiente para fornecer formação adequada. Antecipar as necessidades das competências permite criar respostas estratégicas e informadas (pelo sistema de educação, pelo governo, pela força de trabalho atual e pela força de trabalho futura) de forma a evitar a incompatibilidade de competências. Países que investiram em estratégias de emprego e competências conseguiram reduzir a incompatibilidade de competências, como é o caso da *UK Ambition 2020 Strategy* (International Labour Office, 2015).

Segundo International Labour Office (2015), a antecipação de necessidades de competências para o futuro do trabalho é importante e normalmente utilizada no sentido de:

- Dar orientação vocacional e aconselhamento de carreira;
- Apoiar alocações orçamentais para programas de educação;
- Criar padrões ocupacionais e de competências, e programas de formação;
- Ajudar nas decisões de desenvolvimento de recursos humanos das empresas;
- Direcionar programas de retenção através de serviços de emprego;

- Permitir a tomada as decisões políticas informadas sobre o incentivo à migração da força de trabalho;
- Ser componente de políticas industriais, de investimento, comércio, tecnologia e meio ambiente;
- Ser um *input* para estratégias nacionais e setoriais de emprego e competências;
- Ser um mecanismo para avaliar programas de formação e desenvolvimento de competências e medir o impacto das políticas de competências.

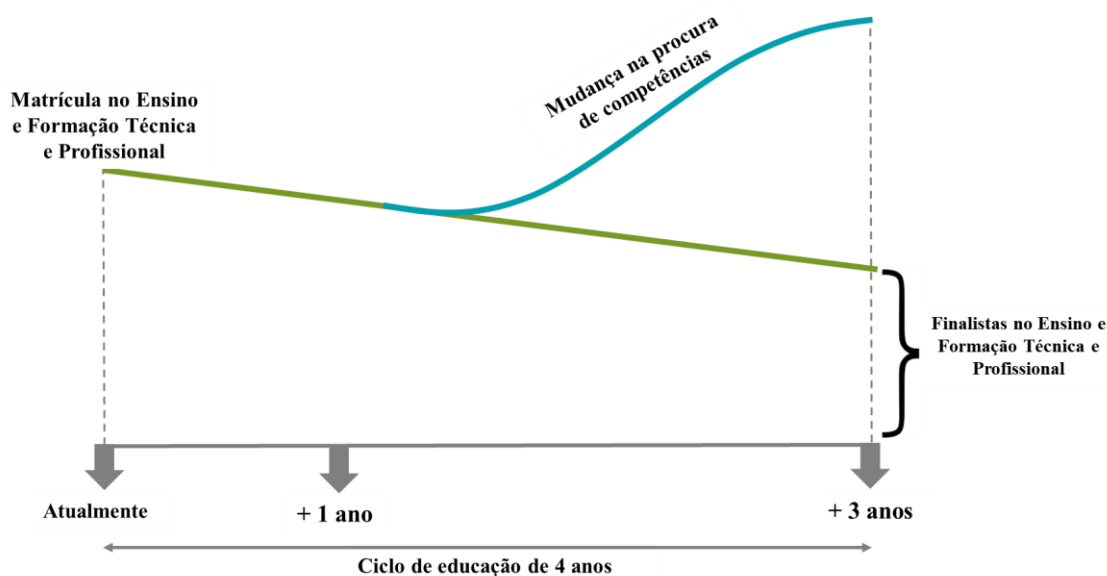


Figura 3.11 - Ciclo de mudança na procura de competências e ciclo de formação
Adaptado de (International Labour Office, 2015)

3.4.5 Competências necessárias para o futuro do trabalho

Como já foi referido, o ritmo acelerado da disrupção tecnológica está a transformar as indústrias e modelos de negócios, e espera-se que os desenvolvimentos tecnológicos contribuam para a automação de várias tarefas. No entanto, em vez de eliminarem completamente os postos de trabalho, é espectável que estes desenvolvimentos substituam tarefas específicas, libertando os trabalhadores das mesmas e permitindo-lhes focar-se em novas tarefas, levando a mudanças no leque de competências necessárias. Mesmo nos empregos que se espera que sejam menos afetados pelas mudanças tecnológicas e que tenham uma perspetiva de emprego estável, podem exigir competências bastante diferentes daqui a alguns anos, tendo em conta que os ecossistemas dentro dos quais operam estão em mudança (World Economic Forum, 2016).

A Figura 3.12 representa assim a influência dos fatores impulsionadores da mudança nas mudanças no local de trabalho e, conseqüentemente nas tarefas dos trabalhadores. Estas mudanças podem então gerar competências emergentes, transformar as competências existentes, ou torná-las obsoletas.

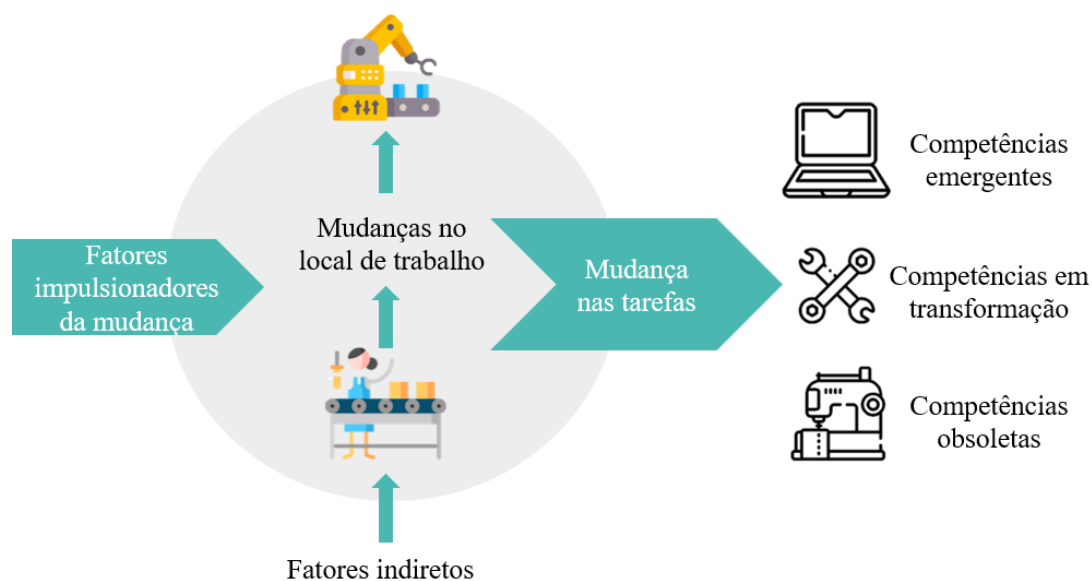


Figura 3.12 - Mudanças no trabalho e nas competências
Adaptado de (Loshkareva et al., 2018)

Tipos de competências

De acordo com Loshkareva et al. (2018), existe um conjunto pequeno de competências que é usado por um número significativo de trabalhadores na indústria. Estas são chamadas pelos autores de **competências básicas** e são transversais a todos os trabalhadores independentemente da sua área de trabalho (como a capacidade de ler, contar e escrever). Além dessas, existem as **competências profissionais** que são particulares de cada tipo de atividade e são usadas por um ou vários trabalhadores numa empresa ou na indústria.

No entanto, segundo os autores, as competências básicas e profissionais são seguidas por uma “cauda longa” de centenas ou milhares de **competências específicas** relacionadas com a realização de tarefas específicas em determinadas condições, como mostra a Figura 3.13. O aumento da população e da complexidade da sociedade e do trabalho provocam a deslocação da curva para cima e para a direita, aumentando a “cauda”, ou seja, aumentando o número de competências necessárias para o futuro do trabalho. Isto significa um grande crescimento no número de competências únicas e diferenciadas, e também de competências profissionais e de competências básicas, embora estas últimas em menor quantidade.

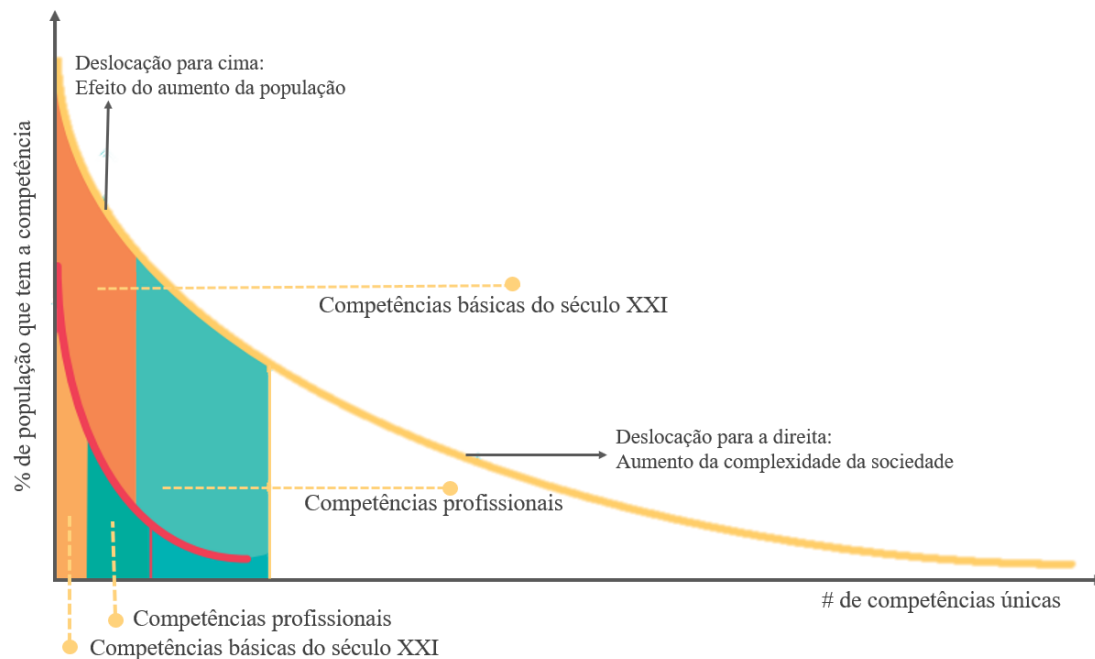


Figura 3.13 - "Cauda longa" das competências

Adaptado de (Loshkareva, Luksha, Ninenko, Smagin, & Sudakov, 2018)

Evolução do modelo de competências

As competências necessárias para o trabalho são comumente divididas em *hard skills*² e *soft skills*³. Este modelo de *hard skills* e *soft skills* pode ser representado em duas camadas (Figura 3.14, à esquerda), onde as *hard skills* se encontram no centro e as *soft skills* as acompanham do lado de fora, ou seja, agregando qualidades e ampliando a camada interna. Os autores Loshkareva, Luksha, Ninenko, Smagin, & Sudakov (2018) supõem que as *hard skills* são essencialmente uma atividade humana, e que as *soft skills* moldam essa atividade, acrescentando mais qualidades. Ainda assim, algumas *soft skills* (ex: competências de colaboração) são competências mais complexas que se estabelecem sobre outras competências fundamentais e mais universais (ex: comunicação, inteligência emocional). Por isso, estes autores classificam as competências de forma mais detalhada, desenvolvendo um modelo de quatro camadas de competências:

1. **Competências específicas do contexto:** Competências que são desenvolvidas e aplicadas em contextos específicos definidos por uma situação social ou humana e/ou pela presença de ferramentas e instrumentos específicos. A maioria das *hard skills* são competências específicas do contexto, mas esta camada não é exclusiva das mesmas.
2. **Competências intercontextuais:** Competências que podem ser aplicadas a um domínio

² Competências técnicas/profissionais ensináveis que podem ser definidas e medidas (ex: falar uma língua estrangeira, domínio de uma ferramenta como SAP)

³ Definidas como oposto às *hard skills*, são competências sociais e comportamentais ensináveis que não podem ser completamente definidas e medidas (ex: ética, competências de comunicação)

maior de atividades sociais ou pessoais, e na presença de várias ferramentas. Algumas *hard skills* também são intercontextuais, como por exemplo ler, escrever ou fazer cálculos.

3. **Meta-competências:** competências que podem ser usadas numa grande quantidade de situações e contextos e que ajudam a adquirir competências mais específicas.
4. **Competências existenciais:** competências fundamentais que permitem traços de caráter e estratégias de vida, como a disposição para o otimismo/pessimismo, mentalidade fixa/de crescimento, nível de força de vontade, capacidade de autorregulação emocional e de saúde, de autoconsciência, de autorreflexão, de autodesenvolvimento, entre outras. Estas competências podem ser aplicadas universalmente ao longo da vida e em diferentes contextos.

Este modelo é construído como apresenta a Figura 3.14 (à direita). Ao contrário do modelo anterior, as competências existenciais formam a base, uma vez que determinam o caráter do indivíduo, em conjunto com as meta-competências que moldam a capacidade de operar nos mundos externo e interno. A camada seguinte é a das competências intercontextuais que são a base para qualquer atividade. E por fim, na camada mais externa encontram-se as competências específicas do contexto, incluindo a maioria das *hard skills*, pois podem variar de acordo com as tarefas executadas.

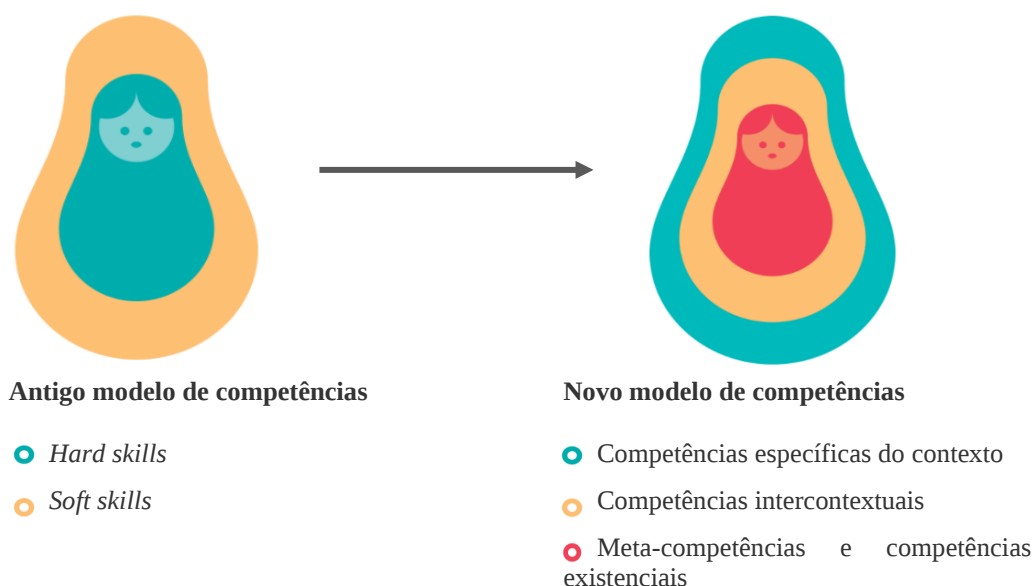


Figura 3.14 - Evolução do modelo de competências

Espera-se que o conhecimento se torne mais contextualizado, portanto as competências específicas (camada externa) tornam-se menos relevantes do que as competências existenciais e meta-competências necessárias para construir conhecimento (camada interna). Esta abordagem é corroborada por Hagel, Brown, & Wooll (2019) que defende que o foco apenas nas competências específicas erra o alvo. Ou seja, numa economia que precisa de cada vez mais competências, atualizadas com cada vez mais frequência, o que se torna mais importante não são as competências em si, mas as capacidades humanas subjacentes à capacidade de aprender, aplicar e de adaptá-las efetivamente (ou seja, as meta-competências e competências existenciais).

Essas várias camadas de competências também têm ciclos de vida diferentes. Competências específicas do contexto podem ser aprendidas e reaprendidas em ciclos curtos de formação, mas podem tornar-se rapidamente desatualizadas devido às mudanças de contexto e tornar-se redundantes devido a mudanças na tecnologia. As competências intercontextuais têm ciclos de vida mais longos (anos ou décadas), mas ao mesmo tempo exigem períodos mais longos de aprendizagem. As meta-competências, e em particular as competências existenciais, têm o ciclo de vida mais longo e normalmente são desenvolvidas em períodos iniciais da vida humana. Surgem, assim, as competências do futuro⁴ que dão resposta às necessidades das economias e das sociedades cada vez mais complexas. A transformação da sociedade e da economia seria mais rápida e robusta se as competências do futuro fossem adquiridas em massa pela população. No entanto, até agora, existe uma lacuna entre os sistemas de educação convencionais, currículo, processos de aprendizagem e as necessidades das competências atuais e as futuras.

As competências do futuro

Feita a segmentação das competências por tipos (ou camadas), importa perceber quais são efetivamente as competências do futuro. Tendo em conta a evolução da tecnologia, da sociedade e do trabalho, torna-se relevante desenvolver competências que acompanhem essa evolução (Loshkareva et al., 2018), (Luksha et al., 2018) como:

- Competências ligadas com a capacidade de lidar com a volatilidade, incerteza e ambiguidade do futuro, como a colaboração, criatividade, espírito empreendedor, e competências que aumentem a resiliência pessoal (como ter hábitos de vida saudável e capacidade de lidar com o stress) e a consciência de futuro (capacidade de perceber e idealizar vários cenários futuros e criar estratégias de ação individuais e coletivas);
- Capacidades e conhecimento que ajudem a lidar com a complexidade crescente da civilização atual, como consciência do ecossistema envolvente, capacidade de resolução

⁴ Competências antecipadas que serão cada vez mais procuradas pela civilização devido à automação, digitalização e à transformação social resultante.

de problemas, e pensamento orientado para a oportunidade;

- Capacidades e conhecimento que ajudem a viver num ambiente sobrecarregado com tecnologia de informação e comunicação, como competências básicas de programação, procura de informação, competências analíticas e de processamento de informação. A capacidade de manter o foco e a atenção também se torna relevante num contexto de sobrecarga de informação;
- Competências e conhecimento focados nas atividades que as máquinas não conseguem realizar, ou seja, não automatizáveis, como: empatia, inteligência emocional, capacidade de cocriar com outras pessoas e servir outros;
- Competências e conhecimento dedicados à multidisciplinaridade de propósito, tornando o indivíduo proficiente em várias áreas do trabalho e da vida.

A análise do *World Economic Forum* (World Economic Forum, 2018) sobre a procura de competências pelo mercado de trabalho indica que haverá uma queda continuada da procura por capacidades manuais e físicas e, por outro lado, uma diminuição da procura de competências relacionadas com a gestão de recursos financeiros e outros, assim como competências de instalação tecnológica básica e competências relacionadas com manutenção. Espera-se que até 2022 aumente a procura por competências como pensamento crítico, inovação, aprendizagem ativa e estratégias de aprendizagem. Embora seja espetável um aumento crescente da importância de competências tecnológicas, como design de tecnologia e programação, espera-se que haja um grande foco nas competências humanas como criatividade, originalidade e iniciativa, pensamento crítico, persuasão e negociação, assim como atenção ao detalhe, resiliência, flexibilidade e resolução de problemas complexos. Outros exemplos de competências que verão um grande aumento na procura pelo mercado de trabalho são a inteligência emocional, liderança, influência social, bem como a orientação para o serviço. Num estudo mais recente, o WEF (World Economic Forum, 2020) sugere o top 15 de competências para 2025, apresentadas na Tabela 3.4 abaixo.

Numa perspetiva temporalmente mais abrangente, apesar de abordarem várias competências já mencionadas, os autores Loshkareva et al. (2018) acrescentam a gestão da atenção e concentração, a literacia digital, a mentalidade ecológica e as competências interculturais como competências muito importantes para o século XXI.

Em suma, espera-se que uma ampla gama de ocupações vá exigir um maior grau de competências cognitivas como parte do seu conjunto principal de competências requeridas em diversos setores, e que muitas posições que até agora eram puramente técnicas, mostrem uma nova procura por competências criativas e interpessoais (World Economic Forum, 2016).

Tabela 3.4 - Top 15 competências para 2025

Fonte: (World Economic Forum, 2020)

1	Pensamento analítico e inovação
2	Aprendizagem ativa e estratégias de aprendizagem
3	Resolução de problemas complexos
4	Pensamento crítico e análise
5	Criatividade, originalidade e iniciativa
6	Liderança e influência social
7	Uso, monitorização e controlo de tecnologia
8	Design de tecnologia e programação
9	Resiliência, tolerância ao stress e flexibilidade
10	Raciocínio, resolução de problemas e conceção de ideias
11	Inteligência emocional
12	Solução de problemas e experiência de utilizador
13	Orientação para o serviço
14	Análise e avaliação de sistemas
15	Negociação e persuasão

4. Educação 4.0: Contribuições para o Desenvolvimento de um Modelo Educacional

No presente capítulo é feita uma análise à evolução dos modelos de educação ao longo do tempo. De seguida, abordam-se com maior profundidade este novo modelo de educação, analisando o papel dos principais *stakeholders* envolvidos, o ambiente de aprendizagem e os métodos de avaliação, e explora-se ainda a pandemia Covid-19 como fator catalisador da implementação de um novo modelo de educação. Por fim, faz-se uma análise SWOT com foco na análise das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças relacionadas com a Educação 4.0.

4.1 Contexto

A transição da Indústria 1.0 para a Indústria 2.0 levou quase um século e meio, e entre a Indústria 2.0 e a Indústria 3.0 passaram algumas décadas. A redução dos períodos entre as transformações foi impulsionada pelo aumento do ritmo da evolução tecnológica, fazendo com que a transição da Indústria 3.0 para a 4.0 fosse ainda mais curta. Estas revoluções industriais não influenciaram apenas a produtividade industrial, também o mercado de trabalho e o sistema educacional foram alterados permanentemente e, como resultado das mudanças que ocorreram, algumas profissões e empregos desapareceram. Atualmente, devido ao desenvolvimento da digitalização, o mundo está a enfrentar uma era de mudança semelhante. A educação está no centro da preparação das gerações presentes e futuras para prosperar num mundo competitivo (Mohamed, Valcke, & De Wever, 2017), por isso, as instituições de ensino desempenham um papel fundamental na formação da sociedade. No entanto, a maioria dos sistemas de educação atuais são baseados em modelos concebidos para formar uma força de trabalho para empregos que já não existem, tornando-se insuficientes para enfrentar os desafios futuros (Cabrita, Safari, & Dueñez, 2020). Torna-se, então, necessário reinventar os sistemas de educação atuais, de forma a preparar os alunos com competências e conhecimento que os tornem capazes de criar soluções para os problemas atuais e futuros e enfrentar os desafios da Indústria 4.0.

4.2 Evolução educacional: da Educação 1.0 à Educação 3.0

Da mesma forma que as revoluções industriais, as revoluções educacionais podem ser categorizadas com base nas evoluções significativas que existiram ao longo do tempo. A evolução da educação começou há séculos atrás, na **Educação 1.0**, quando o foco estava na diminuição da iliteracia através de métodos de ensino conservadores, informais e limitados em escala, pois eram acessíveis apenas para alguns grupos privilegiados. O processo de aprendizagem era realizado na sala de aula, onde o professor agia como uma fonte de conhecimento e os alunos como recetores. Nesta fase, os alunos recebiam a informação de forma passiva e sem muita interação. A evolução para a **Educação 2.0** deu resposta à necessidade de democratizar a educação e de a tornar

acessível a um maior número de pessoas, dando assim origem à educação em massa através de métodos de ensino formais e avançados, focados em instituições de ensino. Com o passar dos anos, a Internet tornou-se num dos recursos usados na aprendizagem, apesar de ter acesso limitado, abrindo portas para a próxima transformação na educação. A transição da Educação 2.0 para a **Educação 3.0** trouxe-nos até aos modelos educacionais aplicados atualmente. Nesta revolução, as tecnologias de informação e comunicação começaram a ser progressivamente integradas na educação, de forma que os modelos de ensino passaram a usar a tecnologia como meio para criar e transferir conhecimento. O cenário tradicional de uma sala de aula foi transformado, fundindo o papel do professor com a integração de novas ferramentas e tecnologias de ensino (Nayar & Koul, 2020) que ajudam os alunos a aprender virtualmente e fornecem informações direcionadas para eles de forma eficaz. A evolução para uma aprendizagem facilitada por plataformas e tecnologias gerou um crescimento exponencial no mercado da tecnologia da educação. No entanto, embora a oferta de educação tenha evoluído ao longo dos anos - da Educação 1.0 à Educação 3.0 - o método de ensino permaneceu quase constante, colocando o professor no centro como forma de disseminação de conhecimento (Nayar & Koul, 2020).

4.3 Educação 4.0

Através de uma mudança da filosofia central do sistema educacional que depende do professor, a Educação 4.0 traz o aluno até ao centro (Nayar & Koul, 2020). A Educação 4.0 surge para dar resposta às necessidades da Indústria 4.0, e dá um novo impulso à transformação educacional em termos de conteúdo do currículo, formas de aprendizagem e gestão educacional, orientada por pedagogias de ensino inovadoras e um ambiente de aprendizagem propício. O aumento da inovação nos métodos de ensino, o objetivo de ter um Ensino Superior melhorado e a disponibilidade de melhores oportunidades de aprendizagem apoiadas pela tecnologia têm sido o principal impulso para esta mudança em direção à personalização que visa criar trabalhadores capacitados para os empregos do futuro –Figura 4.2 (Nayar & Koul, 2020).

Na Educação 4.0, a aprendizagem é conectada ao aluno, focada no aluno, demonstrada pelo aluno e guiada pelo aluno. Assim, é responsabilidade dele definir as várias dimensões do seu processo educacional – o quê, onde, quando, como e porquê – de forma a atingir os seus objetivos individuais –

Tabela 4.1. Este modelo educacional dá aos alunos o poder de estruturar e personalizar a sua própria experiência de aprendizagem, onde o aluno tem flexibilidade para arquitetar o seu futuro, e onde a tecnologia tem potencial para tornar a aprendizagem personalizada num processo mais

acessível e dinâmico. A lógica do sistema educacional deve ser invertida para que seja o sistema a adaptar-se ao aluno, e não o aluno ao sistema (EY, 2017).

Tabela 4.1 - Dimensões do processo educacional

Adaptado de (EY, 2017)

Como?	Onde?	Porquê?
▪ Métodos de entrega ▪ Pedagogia e ensino ▪ Colaborativo / individual ▪ Apoio financeiro	▪ No campus ▪ Em casa ▪ No local de trabalho ▪ Instalações da indústria	▪ Crescimento profissional ▪ Melhoria do conhecimento ▪ Interesse pessoal ▪ Obtenção de grau
O que?	Quando?	
▪ Motivação principal ▪ Competências exigidas ▪ Competências de vida ▪ Conhecimento específico do trabalho	▪ Ao ritmo individual / com prazos definidos ▪ Limite de idade ▪ Duração	

O foco da Educação 4.0 é a aprendizagem experiencial de cada aluno - as bases teóricas são entregues através de plataformas tecnológicas – e uma integração e cooperação com a indústria e com a sociedade fornecem meios para aprender através das pessoas, da interação social e de problemas reais (EY, 2017). Assim, a aprendizagem torna-se uma atividade pessoal, mas também social, entre os intervenientes, que atende às necessidades, talento e interesses de cada aluno. Transformar um sistema educacional baseado em factos e procedimentos num sistema em que se aplica ativamente o conhecimento à resolução de problemas de forma colaborativa é uma das principais características da Educação 4.0 que ajudará a superar os desafios da 4ª Revolução Industrial. Acredita-se que a Educação 4.0 fomenta a criação de inovação nos alunos, criando níveis mais elevados de desempenho e melhores resultados de aprendizagem. Espera-se que crie profissionais qualificados e equipados com as competências necessárias para dar resposta a um mundo de trabalho altamente globalizado e impulsionado pela tecnologia.

4.3.1 Papel dos principais *stakeholders*

4.3.1.1. Aluno

A Educação 4.0 coloca o aluno no centro do ecossistema educacional. Atualmente existem inúmeras oportunidades a nível global, e a tecnologia permite a existência de plataformas acessíveis para os alunos trocarem ideias com outros alunos, compararem-se e influenciarem-se por alunos ao nível dos seus desempenhos, recursos disponíveis, bem como a disponibilidade de opções de trabalho a nível global. Segundo Nayar & Koul (2020), devido à sobrecarga de

tecnologia e à diminuição da conexão humana, a geração atual de alunos carece de QE (Quociente Emocional), e por isso no contexto da Educação 4.0 é fundamental que as instituições de ensino trabalhem na construção do QE tanto dos alunos como dos docentes. Os alunos precisam de estar mais conectados (Yee & Yoon, 2018), e de pensar de forma alternativa e inovadora de forma a acelerar o crescimento e a competição ao seu redor. Os mercados de trabalho atuais e futuros não procuram competências em massa; em vez disso, cada aluno deve identificar os seus fatores de diferenciação e melhorá-los, sendo que os professores e as faculdades atuam como facilitadores da aprendizagem. O aumento da conectividade está no centro da mudança de comportamentos e hábitos, e de como os alunos encontram, usam, desenvolvem e distribuem informação e conhecimento. Assim, os alunos pretendem sair de modelos de ensino fixos e antiquados, e procuram um ecossistema educacional flexível, sem limites e fronteiras e que os alinhe com as competências necessárias no mercado de trabalho no contexto da Indústria 4.0. Impulsionados pela visão da Educação 4.0, os alunos da era atual precisam de mostrar características que enfatizem uma aprendizagem determinada e conduzida por eles próprios. A Figura 4.1 apresenta uma descrição abrangente do aluno no contexto da Educação 4.0.

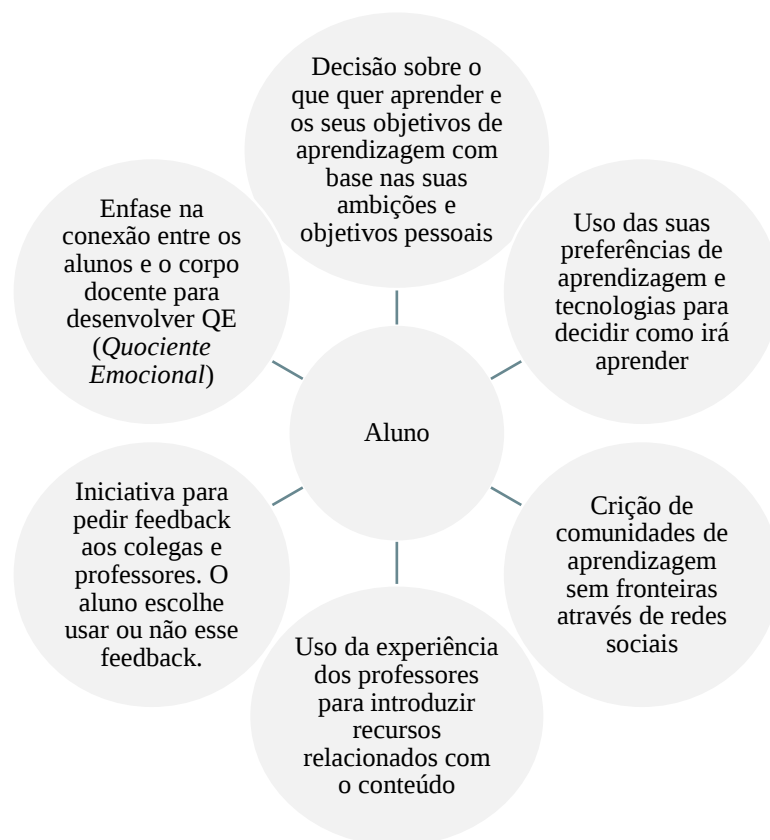


Figura 4.1 - Descrição do aluno no contexto da Educação 4.0

Fonte: Adaptado de (Nayar & Koul, 2020)

4.3.1.2. Professor

A transição da Educação 3.0 para a 4.0 tem um impacto significativo no papel do professor. A Educação 4.0 coloca o aluno no centro do ecossistema educacional, e os professores contribuem para o sistema educacional de múltiplas formas. O foco deixou de ser apenas a entrega de conhecimento, que passa a ser facilitada por diversos meios como a Internet, a indústria e experiência no mundo real. O professor age como facilitador, treinador e mentor não só para o aluno, mas também para o desenvolvimento de todo o ecossistema educacional. Assim, é essencial entender esta transformação e desenvolver as competências necessárias para os professores no contexto da Educação 4.0. De forma a facilitar o seu trabalho, o corpo docente precisa de ser qualificado em pedagogia avançada, pela necessidade de lidar com a inteligência emocional dos alunos, com competências digitais e com a conexão global. As instituições de ensino devem auxiliar na construção de um ambiente de aprendizagem flexível que promova respostas específicas ao contexto e à disciplina, em vez de soluções únicas para todos os problemas.

- Professor como facilitador – cria um ambiente seguro e de confiança que inspira a aprendizagem, incentivando estilos de aprendizagem individuais e motivando o aluno a ser um participante ativo na aprendizagem ao seu próprio ritmo;
- Professor como treinador - É necessário para o professor compreender as competências de cada aluno, acreditar que o seu papel é criar um espaço apto para o crescimento do aluno e abdicar da sua autoridade como “fonte de conhecimento”. O professor como treinador, deve entender o que o aluno deseja alcançar, estimular a autodescoberta, fazer com que o aluno crie soluções e estratégias para resolver problemas e responsabilizá-lo pelos resultados, elevando e reequilibrando a relação aluno-professor tradicional. Este ponto de vista significa, na prática, deixar de dar a resposta aos alunos para criar consciência do que eles querem saber e ajudá-los a projetar ações para atingir os seus objetivos de aprendizagem.
- Professor como mentor – Um mentor é uma pessoa que investe noutra pessoa com menos experiência, ajudando-a a crescer através da construção de confiança e de comportamentos positivos. Um professor como mentor irá ajudar o aluno no desenvolvimento geral da sua personalidade e na preparação para o futuro. Torna-se por isso importante promover o desenvolvimento de competências emocionais intrapessoais e interpessoais nos professores.

4.3.1.3. Universidade

As universidades são um apoio sólido para os alunos e professores, e fornecem o *playground* para a interação e partilha de informação, melhoria de competências e partilha de valores. Tendo em conta os desenvolvimentos que se esperam ao nível da educação, as universidades precisam de mudanças ao nível de recursos, comunicação e inovação. É necessário um diálogo colaborativo entre os *stakeholders* para obter uma visão sobre as suas expectativas, o que ajudaria as universidades na adaptação às mudanças no macroambiente e a melhorar o serviço prestado aos *stakeholders*. Assim, é importante desenvolver um modelo de negócio educacional mais sustentável e flexível que possa criar mais valor. As universidades criam valor através de, pelo menos, duas formas – educar os alunos e resultados de investigação. Ao modelo de negócio da educação tradicional, falta flexibilidade na estrutura de aprendizagem e é limitado por um currículo rígido focado em conhecimento teórico, fazendo com que a preparação do aluno para o mercado de trabalho seja insuficiente. Assim, as universidades precisam de se transformar de forma a tornar a força de trabalho preparada para o mercado de trabalho. É, então, importante incluir tecnologia nos currículos e no sistema educacional, permitindo aos alunos a criação de um currículo moderno e flexível. No entanto, o tipo e a extensão desta transformação podem diferir com base em fatores financeiros, e as instituições devem analisar de forma inteligente as ferramentas e tecnologias relevantes para os seus alunos tendo em conta o custo e a infraestrutura (ex: realidade virtual, realidade aumentada, MOOCs⁵, VLEs⁶, plataformas de aprendizagem social, jogos digitais, etc.). A integração da tecnologia terá de ser implementada e avaliada para cada disciplina e curso, tendo em consideração os resultados de aprendizagem para garantir a implementação ideal. As instituições irão investir na promoção de QE tanto para os alunos como para os professores, e aplicarão os recursos a pedagogias mais envolventes e tecnológicos. Esta transformação resultará numa melhor ligação entre as universidades e a indústria.

4.3.1.4. Governo

O governo cria a base e a estrutura das instituições de ensino, e a visão futura do modelo de negócio para as instituições de Ensino Superior só pode ser implementada através do governo. Para a implementação prática, o governo deve explorar de forma consciente o valor que deseja criar para os *stakeholders* e a maneira de ser economicamente sustentável a fazê-lo. Devem criar-se diretrizes que facilitem a visão de instituições flexíveis e sem fronteiras. É essencial a transformação ao nível das expectativas curriculares, estruturas de exames, métodos de ensino, conexão com a indústria e estrutura de admissão de alunos. É também importante rever a expectativa do corpo docente para gerar mais criatividade, envolvimento e resultados de

⁵ MOOCs - *Massive Open Online Courses*

⁶ VLE – *Virtual Learning Environments*

investigação.

4.3.2 Ambiente de aprendizagem: Sala de aula 4.0

As salas de aula projetadas para que o professor esteja à frente dos alunos podem, agora, precisar de se atualizar de forma a permitir que os alunos trabalhem de forma autónoma com os seus dispositivos pessoais e interajam uns com os outros em projetos colaborativos. As salas de aula tornam-se locais onde o conhecimento e as ideias são gerados através da colaboração e debate, com o professor a agir como um mentor e facilitador da aprendizagem. A implementação desta visão pode ser alcançada através de (Nayar & Koul, 2020):

- **E-learning:** ferramentas de *e-learning* de forma a facilitar oportunidades de aprendizagem remota e individualizada
- **Salas de aula invertidas:** em que a parte teórica é aprendida fora da sala de aula, e a parte prática é dada presencialmente de forma interativa.
- **Aprendizagem personalizada:** os alunos aprendem com ferramentas de estudo que se adaptam às capacidades do mesmo. Esta adoção significa que alunos acima da média serão desafiados com tarefas e problemas mais desafiantes quando um determinado nível for alcançado. Os alunos com dificuldades em determinada temática terão oportunidade de praticar mais até atingir o nível exigido.
- **Entrega flexível:** Todas as disciplinas têm em vista a aprendizagem do aluno, no entanto o caminho que leva ao objetivo pode variar de aluno para aluno. Assim, na experiência de aprendizagem personalizada os alunos moldam o seu processo de aprendizagem. Os alunos têm acesso a dispositivos, programas e técnicas diferenciadas de acordo com os seus interesses. A aprendizagem combinada, salas de aula invertidas e BYOD (*Bring Your Own Device*) fazem parte determinante desta mudança.
- **Aplicação prática:** Os alunos devem adaptar-se à aprendizagem baseada em projetos, e essa adaptação significa que eles precisam de aprender a aplicar as suas competências em situações variadas. Estas metodologias garantem que as competências organizacionais, colaborativas e de gestão de tempo sejam ensinadas de base, e que cada aluno possa usar essas competências durante o seu percurso profissional.
- **Envolvimento e ownership do aluno no seu percurso académico:** Os alunos podem envolvem-se mais na formação dos seus currículos. Manter um currículo académico atualizado e útil só é realista quando tanto os profissionais como os alunos, estão envolvidos. A contribuição crítica dos alunos sobre o conteúdo e a durabilidade dos seus cursos é essencial para um programa de estudos abrangente.
- **Maior ênfase nos colegas e mentores:** Os professores terão um papel importante numa

era de sobrecarga de informação, passando a ter o papel de mentores.

- **Métricas de reputação:** É fundamental o aumento das plataformas onde se pode transmitir opiniões, comunicar pontos de vista, avaliar e comentar produtos, serviços e outras pessoas. Essas plataformas servem também para fornecer *feedback* e avaliar as competências de indivíduos.

4.3.3 Métodos de avaliação

Os sistemas de avaliação convencionais podem ter deixado de ser os mais adequados para orientar os alunos em direção às combinações de competências necessárias para o século XXI. Enquanto as competências cognitivas como a leitura, a escrita, memorização de factos e datas são compreendidas de forma tangível pela avaliação convencional através de testes padrão, muitas das competências necessárias no século XXI são menos tangíveis e, portanto, mais difíceis de avaliar pelos métodos tradicionais. A inteligência social e emocional, a criatividade e a capacidade de cooperar e cocriar, bem como outras competências críticas para o futuro do trabalho, devem ser incluídas na forma como se define o sucesso de um aluno ao longo do ciclo de aprendizagem (Luksha, Spencer-Keyse, & Cubista, Learning Ecosystems: An emerging Praxis for the Future of Education, 2020). Um dos grandes desafios da avaliação no contexto da Educação 4.0 é abordar a medição de metacompetências, dada a dificuldade em avaliá-las de forma simples e direta. No contexto da Indústria 4.0 e da mudança das competências necessárias para o futuro do trabalho, torna-se necessário reconhecer as limitações dos métodos de avaliação e redirecionar o impacto da mesma na vida dos alunos, para que a avaliação possa ser vivenciada como um *feedback* valioso e encorajador. Segundo EY (2017), os métodos de avaliação adaptativos e em tempo real têm potencial para fornecer aos alunos um caminho de aprendizagem específico para as suas necessidades, ao contrário dos métodos tradicionais de avaliação em que as notas no final da disciplina atestam a receção de conhecimento. Os cursos com aprendizagem adaptativa fornecem *feedback* em tempo real ao aluno, e o aluno é livre de aprender alinhado com os seus próprios pontos fortes e fracos em vez de seguir uma estrutura fixa. Através da *data analytics*, as universidades teriam oportunidade de oferecer uma aprendizagem personalizada aos alunos com base nas análises dos seus pontos fortes e fracos. Esta visão é corroborada por Nayar & Koul (2020), onde são sugeridos os seguintes métodos a ser aplicados de forma a melhorar o método de avaliação:

- **Avaliação flexível:** A avaliação tradicional, em que se avaliam as competências dos alunos através de perguntas e respostas pode perder relevância, ou não ser suficiente. O processo de avaliação tradicional resulta no acumular de informação absorvida para ser avaliada, que muitas vezes é esquecida num curto espaço de tempo. Teme-se que os exames possam não medir validamente as capacidades dos alunos de forma a prepará-los

para o mercado de trabalho, pois a avaliação tradicional mede apenas o conhecimento factual de um aluno, enquanto a avaliação com base no desenvolvimento de projetos práticos testa melhor a aprendizagem.

- **Mecanismos de feedback contínuo:** Com evolução da *big data* e *analytics*, a avaliação precisa de se transformar de episódios espaçados para um procedimento contínuo, fornecendo forma de orientar a melhoria contínua na aprendizagem.

A Figura 4.2 apresenta o modelo conceptual do ecossistema educacional de aprendizagem segundo Nayar & Koul (2020).

Indústria 4.0

A Indústria 4.0 concentra-se fortemente na interconectividade, automação, *machine learning* e dados em tempo real. A aprendizagem acontece a qualquer hora e em qualquer lugar

Expectativa

- Resolução de problemas complexos
- Pensamento crítico
- Criatividade
- Gestão de pessoas
- Coordenação com os outros
- Inteligência emocional
- Tomada de decisão
- Orientação para o serviço
- Negociação
- Flexibilidade cognitiva



Educação 4.0

A Educação 4.0 é uma resposta às necessidades da Indústria 4.0, onde o ser humano e a tecnologia estão alinhados para permitir novas possibilidades.

- A aprendizagem acontece em qualquer hora e em qualquer lugar
- Aprendizagem personalizada
- Os alunos determinam como querem aprender
- Aprendizagem baseada em projetos
- Aprendizagem prática
- Interpretação
- Avaliação distinta
- Projeto de currículo orientado ao profissional
- Aprendizagem independente



Figura 4.2 - Modelo conceitual do ecossistema educacional de aprendizagem (Nayar & Koul, 2020)

4.4 Influência da Pandemia Covid-19 na Educação Superior

A pandemia trouxe mudanças sem precedentes e transformou a educação em 2020. Com a implementação de formas de bloquear a propagação da pandemia pelos governos, as escolas e instituições de ensino superior foram forçadas a fechar, e foi necessária a introdução de métodos alternativos de ensino e de aprendizagem de forma muito rápida, dando uso à educação online através das plataformas disponíveis, conteúdo de *e-learning* e tecnologias de comunicação, o que levou a uma mudança rápida e não planeada no setor da educação. Assim, a remodelação da educação durante a pandemia permitiu a realização de tarefas pedagógicas e métodos de ensino que eram subestimados anteriormente. Os MOOCs permitiram uma abordagem mais liberal à educação, e o acesso dos métodos de aprendizagem para alunos de todas as idades incentivou os alunos a investirem nas suas áreas de interesse, tornando a educação menos exclusiva e mais aberta e acessível.

Assim, a pandemia foi um catalisador da transformação da educação (EY, 2021), tornando os conceitos da Educação 4.0 em realidade e trazendo-os para a vanguarda do ensino superior atual como apresentado na Figura 4.3:

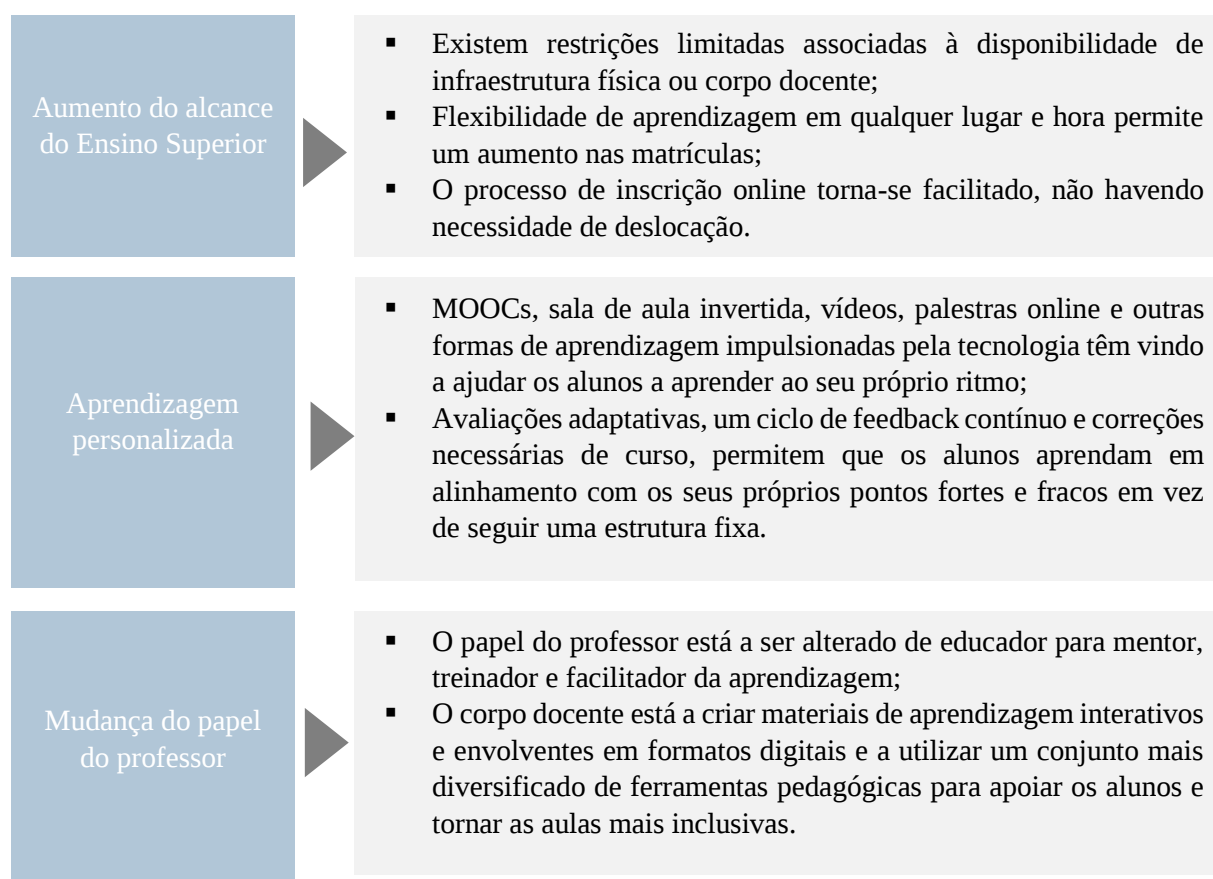


Figura 4.3 - Impacto da pandemia na transformação do Ensino Superior

Fonte: Adaptado de (EY, 2021)

4.5 Educação 4.0: Análise SWOT

A análise SWOT trata-se de uma técnica de planejamento estratégico habitualmente usada para auxiliar organizações a identificar aos seus fatores internos positivos e negativos, forças (*Strengths*) e fraquezas (*Weaknesses*), e os seus fatores externos positivos e negativos, Oportunidades de melhoria (*Opportunities*) e Ameaças que o ambiente externo apresenta à sua sobrevivência (*Threats*). Esta análise tem como principal objetivo a tomada de consciência sobre os pontos mencionados, para que possam ser tidos em conta na tomada de decisões. Para além do âmbito dos negócios, também pode ser vantajoso analisar estes fatores noutros contextos como por exemplo nas instituições de ensino.

De forma a melhorar a sua posição nos *rankings* e a competir com os países progressistas no âmbito da educação superior, as instituições de ensino devem expandir a sua visão, missão, metas, objetivos e estratégias para além das suas práticas atuais para cumprir novas funções e assegurar um desenvolvimento sustentável na educação. No contexto desta dissertação pretende-se analisar, via revisão de literatura, as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças associadas à Educação 4.0.

Fatores internos:

Forças da Educação 4.0 (*Strengths*):

- **Modelo flexível de aprendizagem individualizada:** permite ao aluno definir as várias dimensões do seu processo educacional – o quê, onde, quando, como e porquê – de forma a atingir os seus objetivos individuais;
- **Maior nível de conectividade e colaboração** em comparação com os métodos de educação tradicionais;
- Através da aprendizagem e integração de ferramentas digitais na sala de aula, este modelo permite a **aquisição e atualização das competências tecnológicas** dos professores (Lawrence, Ching, & Abdullah, 2019) e dos alunos;
- A aplicação da realidade aumentada e a realidade virtual na educação permite a **compreensão mais profunda dos ambientes, reconhecer os problemas e testar soluções em casos específicos**, ao serem combinados com outros métodos de aprendizagem como a aprendizagem baseada em projetos, *flipped classroom* e educação online (Lee & Shvetsova, 2019);
- **A avaliação em tempo real** de acordo com o seu desempenho em projetos em vez de serem avaliados com base na sua capacidade de memorização (Hariharasudan & Kot, 2018) permite um feedback contínuo e, logo, uma aprendizagem mais rápida;
- Criação de oportunidade para os educadores criarem uma **ponte mais realista entre os alunos e o que é esperado deles no mercado de trabalho**, através da criação de tarefas e atividades

que fomentem o envolvimento do aluno no processo de pensamento e aprendizagem (ex: *flipped classroom*) (Lawrence, Ching, & Abdullah, 2019);

- Disponibilidade das universidades para a criação de programas relacionados com a Indústria 4.0 (Mian et al., 2020);
- Disponibilidade de infraestruturas e acesso a internet com velocidade adequada nas universidades (Mian et al., 2020);
- Possibilidade de desenvolvimento de competitividade a nível internacional através da transformação digital (Mian et al., 2020).

Fraquezas (Weaknesses):

- Possível **lacuna nas competências dos docentes** para lecionar no âmbito da Educação 4.0;
- Devido à competitividade dos negócios, o setor da educação deve preparar os alunos para trabalhos que ainda não existem, tecnologias que ainda não foram inventadas e problemas que ainda não surgiram. Assim, existe uma preocupação e **pressão sobre o sistema de educação para satisfazer as necessidades das comunidades digitais** (Lawrence, Ching, & Abdullah, 2019);
- **Resistência à mudança** (Lawrence, Ching, & Abdullah, 2019) provocada pela dificuldade em sair da zona de conforto associada ao método de ensino tradicional. A falta de preparação tecnológica por parte dos docentes pode levar a que haja alguma resistência na incorporação deste novo método de ensino e da própria tecnologia na sala de aula;
- **O aumento da conectividade digital** poderá diminuir o envolvimento e o contacto presencial professor-aluno, ou seja, **diminuir da conectividade social**. Apesar de a tecnologia aumentar a conectividade global, poderá desconectar as pessoas do mundo físico ao envolvê-las cada vez mais no mundo cibernético e ter um efeito negativo nas relações interpessoais (Lawrence, Ching, & Abdullah, 2019);
- **Falta de financiamento de projetos** de adaptação do ensino à Educação 4.0 (Mian et al., 2020);
- **Dependência de tecnologia** (Mian et al., 2020);
- **Insuficiência de estratégias** para promover, investir e gerar consciência sobre a Indústria 4.0 (Mian et al., 2020).

Fatores externos:

Oportunidades (*Opportunities*):

Num futuro de mudanças sociais sem precedentes, a educação é crucial para gerir os desafios futuros. Com mercados de trabalho mais automatizados, digitalizados e fluidos, os sistemas de ensino superior atuais estão a tornar-se rapidamente incompatíveis com o futuro. Segundo Østergaard & Nordlund (2019), existem pelo menos quatro fatores que na sua interconexão desafiam estruturalmente o modelo atual de ensino, revelando-se como oportunidades para a mudança:

- **Necessidade crescente de aprendizagem contínua ao longo da vida num mundo não linear:** cada vez mais trabalhos irão precisar de interação substancial com tecnologia, serão adaptados pelas ruturas tecnológicas, pela automação do trabalho e pelos trabalhos mais flexíveis e fluidos. A mentalidade de que estudar ou receber formação numa idade precoce é suficiente para preparar indivíduos para uma vida inteira de trabalho tornou-se desatualizada e já não reflete os percursos individuais das carreiras modernas. Pelo contrário, a evolução cada vez mais rápida aumenta a necessidade de uma aprendizagem contínua, e torna-se necessário desenvolver modelos educacionais que a promovam;
- **Expectativas e necessidades crescentes dos “estudantes-consumidores”:** Modelos de educação padronizada para todos os alunos tornaram-se desatualizados e os percursos de aprendizagem individuais são cada vez menos definidos pelas estruturas educacionais individuais. Consequentemente, os alunos adotam uma mentalidade de “consumidor” e procuram experiências educacionais flexíveis e personalizadas, que se adaptem melhor às suas aspirações e objetivos;
- **Tecnologias e modelos de negócio emergentes:** Embora o ritmo de avanço no setor da educação seja mais lento do que noutros setores, a inovação dos modelos de negócio está a tornar-se cada vez mais predominante e necessária graças à transformação digital. Para se adaptar, o panorama da educação terá que mudar significativamente nas próximas décadas, à medida que novos *stakeholders* inovam em relação ao ensino superior convencional e aos modelos de aprendizagem ao longo da vida. Isto testará a agilidade e a adaptabilidade dos *stakeholders* estabelecidos e dos seus modelos existentes. Em resposta, as universidades experimentam mudanças nos seus modelos de negócio, mas o cenário do ensino superior futuro poderá incluir novos *stakeholders* disruptivos, que competem e colaboram com os *stakeholders* tradicionais;
- **Modelo de “competências acima de diplomas”:** É estabelecido convencionalmente que o percurso que leva ao sucesso profissional passa por fazer um curso superior, e que ter um

diploma está correlacionado com maiores hipóteses de empregabilidade e de maior remuneração. No entanto, o valor dos diplomas é cada vez mais questionado. Tornou-se discutível se o ensino superior tradicional ainda é a melhor maneira de fornecer aos indivíduos as competências necessárias para competir no mercado de trabalho. Embora os diplomas continuem a atestar as competências de um trabalhador, existe uma fraca correlação entre o nível de educação e o desempenho no trabalho;

- Como abordado no subcapítulo 3.4.2., existe uma correlação negativa entre a qualidade do sistema de educação e o desequilíbrio do mercado de trabalho. Uma vez que se espera que, através da Educação 4.0, aumente a compatibilidade entre as competências oferecidas pela força de trabalho e as competências necessárias para dar resposta às necessidades do mercado, o desenvolvimento e atualização do modelo educacional poderá levar a uma diminuição da dificuldade em preencher vagas de trabalho, e logo a uma **diminuição do desequilíbrio no mercado de trabalho**;
- O modelo da Educação 4.0 cria uma oportunidade para a criação de **percursos de aprendizagem personalizados**. A utilização de MOOCs, *flipped classroom*, vídeos, aulas online e outras plataformas tecnológicas de aprendizagem permitem aos alunos aprender ao seu próprio ritmo. Também o modelo de avaliação adaptativa com *feedback* contínuo permite que o aluno tenha uma aprendizagem alinhada com os seus próprios pontos fortes e fracos, em vez de seguir uma estrutura fixa;
- A influência da **pandemia do vírus Covid-19 como fator catalisador da mudança**, pode também surgir como uma oportunidade à implementação do modelo educacional da Educação 4.0, ao forçar a adaptação dos sistemas de educação através da introdução de métodos alternativos de ensino e aprendizagem, dando uso à educação online através das plataformas disponíveis e conteúdo e-learning (EY, 2021);
- Segundo Mian et al. (2020), a colaboração com a indústria, o crescimento do mercado e o desenvolvimento de competências adequadas às necessidades do mercado de trabalho são também oportunidades da Educação 4.0.

Ameaças (Threats):

Identificam-se na literatura as seguintes limitações na transição para a Educação 4.0, que poderão ser ameaças que o ambiente externo apresenta à Educação 4.0:

- **Dificuldades de adaptação** às necessidades individuais e evolutivas dos alunos e professores na construção de meios de aprendizagem reutilizáveis e adaptáveis, orientados por modelos de

formação que partilham semânticas comuns em repositórios de conhecimento;

- **Lacuna nas competências de ensino e avaliação** de conhecimentos de forma adequada no contexto da Educação 4.0;
- **Falta de comprovação da melhoria dos resultados de aprendizagem** com a implementação da Educação 4.0;

O World Economic Forum (Mezied, 2016) acrescenta algumas das limitações na implementação da Educação 4.0:

- **A desigualdade educacional** no ensino superior digital. Embora a educação superior digital possa ser menos dispendiosa comparando com o modelo atual, é necessário considerar a melhor maneira de abranger as populações mais desfavorecidas, onde a educação pode funcionar como uma forte ferramenta de mudança e de capacitação;
- **Risco, privacidade e segurança** são também desafios a enfrentar pelo ensino superior;
- **Grande investimento e rentabilidade incerta** (Mian et al, 2020);
- Criação de **estratégias e *framework* de adaptação à Educação 4.0 intangíveis** (Mian et al, 2020);

Assim, tendo em conta as Forças (S), Fraquezas (W), Oportunidades (O) e Ameaças (T) mencionadas na literatura, foi construída a matriz SWOT apresentada na Figura 4.4 abaixo.

		Fatores positivos		Fatores negativos	
Ambiente interno		Forças		Fraquezas	
		▪ Modelo flexível de aprendizagem individualizada ▪ Maior nível de conectividade e colaboração ▪ Aquisição e atualização das competências tecnológicas ▪ Aprendizagem mais rápida ▪ Aprendizagem baseada em projetos, e ponte mais realista com o que é esperado deles no mercado de trabalho ▪ Disponibilidade das universidades para a criação de programas relacionados com a Indústria 4.0 ▪ Disponibilidade de infraestruturas e acesso a internet ▪ desenvolvimento de competitividade a nível internacional		▪ Lacuna nas competências dos docentes ▪ Pressão sobre o sistema de educação para satisfazer as necessidades das comunidades digitais ▪ Resistência à mudança ▪ Aumento da conectividade digital e diminuição da conectividade social ▪ Falta de financiamento de projetos ▪ Dependência de tecnologia ▪ Insuficiência de estratégias	
Ambiente externo		Oportunidades		Ameaças	
		▪ Aprendizagem contínua ao longo da vida ▪ Expectativas e necessidades crescentes dos “estudantes-consumidores” ▪ Tecnologias e modelos de negócio emergentes ▪ Modelo de “competências acima de diplomas” ▪ Diminuição do desequilíbrio no mercado de trabalho ▪ Percursos de aprendizagem personalizados ▪ Pandemia do vírus Covid-19 como fator catalisador da mudança		▪ Dificuldades de adaptação ▪ Lacuna nas competências de ensino e avaliação ▪ Falta de comprovação da melhoria dos resultados de aprendizagem ▪ Desigualdade educacional ▪ Risco, privacidade e segurança ▪ Grande investimento e rentabilidade incerta ▪ Estratégias e framework de adaptação à Educação 4.0 intangíveis	

Figura 4.4 - Educação 4.0: Análise SWOT

5. Conclusões

No presente e último capítulo, são discutidas as conclusões relevantes dos capítulos 2, 3 e 4 e é dada resposta às questões de investigação levantadas nesta dissertação. São ainda abordadas as limitações do estudo realizado, as contribuições para a teoria e as vias de investigação futura.

5.1 Conclusões do estudo

Apesar de as primeiras três revoluções industriais terem criado uma mudança social significativa, a transformação que está a acontecer atualmente é ímpar no que toca à velocidade à qual as novas ideias e tecnologias se estão a propagar. A 4ª Revolução Industrial tem um enorme potencial para fomentar oportunidades económicas e sociais através de uma mudança de paradigma em relação à organização do trabalho, modelos de negócio e tecnologia de produção. Esta revolução industrial pretende que através da automação da produção baseada no uso e na partilha de dados em tempo real, se criem e adaptem empresas que não só são interconectadas como também comunicam, analisam e usam informação para impulsionar ações inteligentes no mundo físico.

Segundo a literatura, os países com maior potencial na preparação para a Indústria 4.0 são algumas das potências mundiais (China, França, Japão, Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos da América), mas é também interessante verificar que Portugal se encontra classificado com “*High-Potential*”, o que significa que poderá vir a estar bem posicionado no futuro. No entanto, Portugal encontra-se abaixo da média europeia em termos de competências digitais, nomeadamente no que toca às componentes de Capital Humano e Uso de *Internet*. Assim, para assegurar que este potencial é alcançado torna-se importante antecipar as competências que serão necessárias para o futuro do trabalho e investir na qualificação da força de trabalho atual e futura, colmatando a lacuna existente entre as competências da força de trabalho atual e as competências necessárias para dar resposta às necessidades do mercado de trabalho e, assim, diminuindo os desequilíbrios no mercado de trabalho (oferta vs procura).

Alteração das competências necessárias para dar resposta às necessidades do mercado de trabalho no contexto da Indústria 4.0

De acordo com a literatura, na atualidade, os empregos com maior procura e com maior aceleração salarial combinam o trabalho e as responsabilidades de vários trabalhos tradicionais, usando a tecnologia para aumentar e ampliar o âmbito do trabalho realizado, e envolvem um conjunto mais complexo de competências técnicas e humanas. A tecnologia de automação pode ajudar a remover a carga do trabalho repetitivo e a permitir que os funcionários se foquem na solução de problemas mais complexos, reduzindo o risco de erros, podendo gerar um aumento na produtividade e possibilitando que eles se foquem em atividades de valor acrescentado e contribuam para a empresa com as competências que

distinguem o ser humano. Portanto, as atividades mais suscetíveis de ser automatizadas são atividades físicas realizadas em ambientes estruturados e previsíveis, assim como atividades de recolha e processamento de dados. Por outro lado, de forma a tirar proveito dos benefícios desta cooperação, os trabalhadores necessitam de ter as competências necessárias que lhes permitam prosperar neste tipo de trabalhos do futuro.

O modelo tradicional de competências é baseado em duas camadas - *hard skills* e *soft skills*, onde as *hard skills* se encontram no centro e as *soft skills* as acompanham do lado de fora, ou seja, agregando qualidades e ampliando a camada interna. Segundo a literatura estudada, ao contrário do modelo anterior, no modelo proposto de competências necessárias para o futuro do trabalho, as competências base (localizadas no centro) são as competências existenciais, seguidas das meta-competências, das competências intercontextuais e por fim, na camada mais externa, pelas competências específicas do contexto nas quais se incluem as *hard skills*. Assim, tendo em conta o rápido desenvolvimento tecnológico e que a mudança na procura de competências é mais rápida do que a formação para dar resposta à necessidade das mesmas, espera-se que as competências específicas se tornem menos relevantes do que as competências existenciais e meta-competências necessárias para contruir conhecimento. Deste modo, numa economia que precisa de cada vez mais competências, atualizadas com cada vez mais frequência, o que se torna mais relevante não são as competências em si, mas as capacidades humanas subjacentes à capacidade de aprender, aplicar conhecimento e de adaptá-las efetivamente, ou seja, as meta-competências e competências existenciais. Pela rapidez desta evolução, antecipar as necessidades das competências toma especial importância, pois permite criar respostas estratégicas e informadas, pelo sistema de educação, pelo governo, pela força de trabalho atual e pela força de trabalho futura, de forma a evitar a incompatibilidade de competências e desequilíbrio no mercado de trabalho.

No que toca ao futuro do trabalho, espera-se uma queda da procura por capacidades físicas e manuais, e por competências automatizáveis. Por outro lado, espera-se o aumento da procura de competências como o pensamento crítico, inovação, aprendizagem ativa e estratégias de aprendizagem. Embora seja espetável um aumento crescente da importância de competências tecnológicas, como design de tecnologia e programação, espera-se que haja um grande foco nas competências humanas como criatividade, originalidade e iniciativa, pensamento crítico, persuasão e negociação, assim como atenção ao detalhe, resiliência, flexibilidade e resolução de problemas complexos. Outros exemplos de competências que verão um grande aumento na procura pelo mercado de trabalho são a inteligência emocional, liderança, influência social, bem como a orientação para o serviço. Em suma, espera-se que uma ampla gama de ocupações vá exigir um maior grau de competências cognitivas como parte do seu conjunto principal de competências requeridas em diversos setores, e que muitas posições que até agora

eram puramente técnicas, mostrem uma nova procura por competências criativas e interpessoais.

A necessidade de um novo modelo de educação no contexto da 4ª Revolução Industrial

O modelo de educação tradicional foi largamente influenciado pelas necessidades da Primeira e da Segunda Revolução Industrial, quando a produção de talento em massa era usada para dar resposta às necessidades do mercado de trabalho da época – repetitivo e orientado para o processo existente. Apesar de a maioria dos sistemas de educação terem permanecido dentro do mesmo padrão, a Terceira e Quarta Revolução Industrial introduziram novos fatores impulsionadores da mudança, criando grandes mudanças nas competências necessárias para o mercado de trabalho e levantando questões sobre a forma como os modelos de educação atuais se adequam e adaptam a esta evolução. No entanto, a maioria dos sistemas de educação em países desenvolvidos e em desenvolvimento ainda são suportados por modelos de educação focados na instrução direta e na memorização, em vez de métodos interativos que promovam o pensamento crítico e individual necessário na economia atual em desenvolvimento. Os sistemas de educação atuais são baseados em modelos concebidos para formar uma força de trabalho para empregos que já não existem, tornando-se insuficientes para enfrentar os desafios futuros.

Grande parte dos alunos atuais e futuros, terão trabalhos que ainda não existem na atualidade e onde provavelmente lhes serão exigidas maiores competências tanto ao nível tecnológico como cognitivo, social e emocional. Espera-se que estes alunos sejam introduzidos a novos modelos de negócio, nos quais as forças de trabalho estarão mais distribuídas. Num mundo cada vez mais interconectado, será esperado que os trabalhadores futuros colaborem com colegas residentes em várias partes do mundo, que compreendam as nuances culturais existentes e que, em muitos casos, usem ferramentas digitais que permitam este tipo de interação. Neste contexto, as universidades, a indústria e o governo devem fazer a transição dos sistemas de educação tradicionais para sistemas de educação desenhados para preparar os alunos com competências e conhecimento que os tornem capazes de criar soluções para os problemas atuais e futuros e enfrentar os desafios da Indústria 4.0, criando um mundo mais inclusivo, coeso e produtivo.

As principais frentes de mudança na Educação 4.0

A Educação 4.0 traz uma mudança da filosofia central do sistema educacional tradicional que depende do professor, colocando o aluno no centro. Este modelo surge para dar resposta às necessidades da Indústria 4.0, e dá um novo impulso à transformação educacional em termos de conteúdo do currículo, formas de aprendizagem e gestão educacional, orientada por pedagogias de ensino inovadoras e um ambiente de aprendizagem propício. O aumento da inovação nos métodos de ensino, o objetivo de ter um Ensino Superior melhorado e a disponibilidade de melhores oportunidades de aprendizagem apoiadas pela tecnologia têm sido o principal impulso para esta mudança em direção à personalização

que visa criar trabalhadores capacitados para os empregos do futuro.

O novo modelo educacional que pretende dar resposta às necessidades do mercado de trabalho, é sustentado na mudança em seis frentes principais descritas abaixo - o papel do aluno, o papel do professor, o ambiente de aprendizagem, os métodos de avaliação, a universidade e o papel do governo.

Na Educação 4.0, a aprendizagem é conectada ao aluno, focada no aluno, demonstrada pelo aluno e guiada pelo aluno. Assim, é responsabilidade dele definir as várias dimensões do seu processo educacional – o quê, onde, quando, como e porquê – de forma a atingir os seus objetivos individuais. Este modelo educacional dá aos alunos o poder de estruturar e personalizar a sua própria experiência de aprendizagem, onde o aluno tem flexibilidade para arquitetar o seu futuro, e onde a tecnologia tem potencial para tornar a aprendizagem personalizada num processo mais acessível e dinâmico. A lógica do sistema educacional deve ser invertida para que seja o sistema a adaptar-se ao aluno, e não o aluno ao sistema. Por outro lado, a Educação 4.0 tira o foco da entrega de conhecimento por parte do professor, que passa a ter o papel de facilitador, treinador e mentor. Nesta mudança, torna-se importante desenvolver as competências do corpo docente de forma a qualificá-lo com competências de pedagogia avançada, capacidade de lidar com inteligência emocional com os alunos, competências digitais e de conexão global. As instituições de ensino devem auxiliar na construção de um ambiente de aprendizagem flexível que promova respostas específicas ao contexto e à disciplina, em vez de soluções únicas para todos os problemas. O governo tem também um papel importante, criando a base e estrutura das instituições de ensino. Devem criar-se diretrizes que facilitem a visão de instituições flexíveis e sem fronteiras. É essencial a transformação ao nível das expectativas curriculares, estruturas de exames, métodos de ensino, conexão com a indústria e estrutura de admissão de alunos. É também importante rever a expectativa do corpo docente de forma a gerar mais criatividade, envolvimento e resultados de investigação.

Também o ambiente de aprendizagem sofrerá alterações a fim de se adaptar à Educação 4.0, permitindo que os alunos trabalhem uns com os outros de forma colaborativa. Neste modelo de educação são usadas ferramentas de e-learning, sala de aula invertida, aprendizagem personalizada, entrega flexível, aprendizagem baseada em projetos, envolvimento do aluno no seu próprio percurso académico, maior ênfase nos colegas e mentores e uso de plataformas para métricas de reputação.

Enquanto as competências cognitivas como a leitura, a escrita, memorização de factos e datas são compreendidas de forma tangível pela avaliação convencional através de testes padrão, muitas das competências necessárias no século XXI são menos tangíveis e, portanto, mais difíceis de avaliar pelos métodos tradicionais. A Educação 4.0 propõe uma adaptação dos métodos de avaliação tradicionais em que as notas no final da disciplina atestam a receção de conhecimento, para métodos de avaliação

flexíveis, adaptativos e em tempo real com potencial para fornecer aos alunos um caminho de aprendizagem específico para as suas necessidades. Os cursos com aprendizagem adaptativa fornecem feedback contínuo em tempo real ao aluno, e o aluno é livre de aprender alinhado com os seus próprios pontos fortes e fracos em vez de seguir uma estrutura fixa. Através de *data analytics*, as universidades teriam oportunidade de oferecer uma aprendizagem personalizada aos alunos com base nas análises dos seus pontos fortes e fracos.

Desafios e oportunidades da Educação 4.0

A análise SWOT efetuada nesta dissertação propõe uma abordagem para as universidades, onde se deve fazer uso dos pontos fortes para aproveitar as oportunidades emergentes da Indústria 4.0 e da Educação 4.0. Os resultados desta análise indicaram que algumas das oportunidades levantadas pela Educação 4.0 são:

- A necessidade crescente de aprendizagem ao longo da vida, criada pela evolução rápida da tecnologia e pela necessidade de aprendizagem de novas competências e adaptação a novos contextos;
- Oportunidade de dar resposta às expectativas e necessidades crescentes dos estudantes-consumidores, que procuram experiências educacionais flexíveis e personalizadas, que se adaptem às suas aspirações e objetivos;
- Oportunidade de desenvolvimento de tecnologias e modelos de negócio emergentes, testando a agilidade e adaptabilidade dos *stakeholders* estabelecidos e dos seus modelos existentes. Cria a oportunidade de criar mudanças nos modelos de negócio das universidades e da inclusão de novos *stakeholders* disruptivos, que competem e colaboram com os *stakeholders* tradicionais;
- Oportunidade de dar resposta à crescente valorização das competências acima dos diplomas, através da disponibilização de recursos e meios para aprendizagem e aquisição de competências;
- Oportunidade de diminuição da dificuldade em preencher vagas de trabalho e, logo, diminuição do desequilíbrio do mercado de trabalho através da qualificação dos alunos com as competências que o mercado procura;
- Criação de percursos de aprendizagem personalizado e de um modelo de avaliação adaptativa com *feedback* contínuo permite que o aluno tenha uma aprendizagem alinhada com os seus próprios pontos fortes e fracos, em vez de seguir uma estrutura fixa;
- A remodelação da educação durante a pandemia Covid-19 veio introduzir métodos de ensino que eram subestimados anteriormente e permitir uma abordagem mais liberal à educação,

tornando a educação menos exclusiva e mais aberta e acessível. Assim, a pandemia foi um fator catalisador da transformação da educação tornando alguns conceitos da Educação 4.0 em realidade e trazendo-os para a vanguarda do ensino superior atual;

- Oportunidade de colaboração com a indústria e crescimento do mercado.

No entanto, foram também identificados desafios a ter em conta durante a adaptação a um novo modelo educacional:

- Dificuldade de adaptação às necessidades individuais e evolutivas dos alunos e professores na construção de meios de aprendizagem reutilizáveis e adaptáveis;
- Resistência à mudança;
- Lacuna nas competências de ensino e avaliação de conhecimentos de forma adequada no contexto da Educação 4.0;
- Falta de comprovação da melhoria dos resultados de aprendizagem com a implementação da Educação 4.0;
- A desigualdade educacional no ensino superior digital;
- Risco, privacidade e segurança;
- Grande investimento e rentabilidade incerta;
- Criação de estratégias e *framework* de adaptação à Educação 4.0 intangíveis.

A próxima década exigirá liderança com propósito para chegar a um futuro de trabalho que atenda ao potencial humano. O desenvolvimento e melhoria das competências humanas do futuro através da educação, aprendizagem e trabalho são motores importantes para o sucesso económico, do bem-estar individual e da coesão social. Tendo isso em conta, a resposta às três questões de instigação propostas por esta dissertação permite fornecer uma base para ter em conta na reformulação do ensino superior em consonância com a visão da Indústria 4.0, tendo em consideração as necessidades de competências que devem ser satisfeitas, as principais frentes de mudança a abordar e ainda as principais oportunidades e desafios a enfrentar.

5.2 Limitações do estudo e vias de investigação futura

Apesar de ter sido possível responder às questões de investigação propostas no âmbito desta dissertação, o presente estudo acarreta algumas limitações que poderiam ter sido colmatadas com mais tempo de desenvolvimento.

Uma das limitações deste trabalho passa pela falta de evidências empíricas do tema que podiam ter sido

desenvolvidas através de questionários aos estudantes da FCT, ou a representantes de um setor da indústria, por exemplo.

Como a Indústria 4.0 e a Educação 4.0, temas centrais desta dissertação, são temas em desenvolvimento, não há à disposição na literatura um número relevante de casos práticos, aplicabilidade do tema e evidências empíricas.

Por essa razão, o estudo realizado poderá servir como base para estudos empíricos relacionados com o tema. Sugere-se, por proximidade ao tema estudado:

- Estudo relacionado com a percepção do nível de preparação dos alunos para a Indústria 4.0 ao entrar no mercado de trabalho, através questionários a representantes relevantes de um setor da indústria.
- Estudo focado na percepção dos alunos e/ou docentes e/ou *alumni* relativa ao modelo de educação da FCT e à preparação do mesmo para fornecer as competências necessárias para o futuro do trabalho, por via de questionários, tendo por base as principais frentes de mudança definidas – papel do aluno, papel do professor, o ambiente de aprendizagem, os métodos de avaliação, a universidade e o papel do governo.
- Elaboração de uma análise SWOT semelhante à desenvolvida no âmbito desta dissertação, identificando por via de questionários a alunos e/ou docentes, as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças da implementação de um novo modelo educacional sustentado nas premissas da Educação 4.0 aplicado à FCT.

5.3 Contribuições para a teoria

Devido ao facto de a Indústria 4.0 e a Educação 4.0 serem temas ainda em desenvolvimento, com escassez de estudos de aplicação em escala, o estudo em alvo nesta dissertação é, também, um estudo preliminar limitado por essas circunstâncias. No entanto, o estudo feito ao longo desta dissertação pretende abrir caminho ao desenvolvimento mais aprofundado do mesmo, fomentar a reflexão sobre as questões em investigação e contribuir para teoria através de um estudo da literatura mais aprofundado que poderá servir de base para o desenvolvimento empírico do tema, e de uma proposta das principais frentes de mudança que devem ser foco aquando do desenvolvimento de um novo modelo educacional tendo em conta o pensamento 4.0, sendo eles o papel do aluno, o papel do professor, o ambiente de aprendizagem, os métodos de avaliação, a universidade e o papel do governo.

Referências bibliográficas

- (12 de Agosto de 2019). Obtido de International Communications Union: <https://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/com17/Pages/cybersecurity.aspx>
- Adalet McGowan, M., & D. Andrews. (2017). "Skills mismatch, productivity and policies: Evidence from the second wave of PIAAC". *OECD Economics Department Working Papers*(1403). doi:<http://dx.doi.org/10.1787/65dab7c6-en>
- Agrawal, D., Das, S., & Abbadi, A. E. (2011). Big Data and Cloud Computing: Current State and Future Opportunities. *Proceedings of the 14th International Conference on Extending Database Technology*, (pp. 530-533). Uppsala, Sweden.
- Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, M. R. (2015). Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives. *Journal of Urban Technology*, 3-21.
- Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for. *Engineering Science and Technology*, 899-919.
- Assunção, M. D., Calheiros, R. N., Bianchi, S., Netto, M. A., & Buyya, R. (2014). Big data computing and clouds: Trends and future directions. *Journal of Parallel and Distributed Computing*.
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *PRESENCE: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355-385.
- Azuma, R. T. (2016). The Most Important Challenge Facing Augmented Reality. *PRESENCE: Teleoperators and Virtual Environments*, 25(3), 234-238.
- Baena, F., Guarín, A., Mora, J., Sauza, J., & Retat, S. (2017). Learning Factory: The Path to Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 9, 73-80.
- Bahrim, M. A., Othman, M. F., Azli, N. H., & Talib, M. F. (2016). INDUSTRY 4.0: A REVIEW ON INDUSTRIAL. *Jurnal*, 137-143.
- Bakhshi, H., Downing, J. M., Osborne, M. A., & Schneider, P. (2017). *The Future of Skills: Employment in 2030*. London: Pearson and Nesta.
- Blanco-Novoa, Ó., Fernández-Caramés, T. M., Fraga-Lamas, P., & Vilar Montesinos, M. A. (2018). A Practical Evaluation of Commercial Industrial Augmented Reality Systems in an Industry 4.0 Shipyard. *Access IEEE*, 6, 8201-8218.
- Bloom, D. E., Kuhn, M., & Prettnner, K. (2016). Africa's prospects for enjoying a demographic dividend. *Vienna Institute of Demography Working Papers*(4/2016). Obtido em 22 de Janeiro de 2020, de <https://www.econstor.eu/handle/10419/156312>
- Borgia, E. (2014). The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, 54, 1-31.
- Burke, R., Mussomeli, A., Laaper, S., Hartigan, M., & Sniderman, B. (31 de Agosto de 2017). *The smart factory: Responsive, adaptive, connected manufacturing*.

- Cabrita, M., Safari, H., & Dueñez, M. M. (2020). Preparing for Education 4.0: Sills Facing Economic Social and Environmental Challenge. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 11(1), 33-37. doi:10.18178/ijimt.2020.11.1.872
- Cardoso, J., Voigt, K., & Winkler, M. (2008). Service Engineering for the Internet of Services. *International Conference on Enterprise Information Systems* (pp. 15-27). Springer.
- Chang, J., He, J., Mao, M., Zhou, W., Lei, Q., Li, X., . . . Zhao, X. (2018). Advanced Material Strategies for Next-Generation. *Materials*.
- Chui, M., Manyika, J., & Miremadi, M. (2016). *Where machines could replace humans and where they can't (yet)*. McKinsey Quarterly. Obtido de <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business Functions/McKinsey Digital/Our Insights/Where machines could replace humans and where they cant/Where-machines-could-replace-humans-and-where-they-cant-yet.ashx>
- Cimini, C., Pinto, R., Pezzotta, G., & Cavalieri, S. (2018). Industry 4.0 Technologies Impacts in the Manufacturing and Supply Chain Landscape: An Overview: Proceedings of SOHOMA 2018. Em *Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing* (pp. 108-210).
- Coelho, P. M. (Julho de 2016). *Rumo á Indústria 4.0*. Coimbra : Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra.
- Cognizant. (2015). *The Robot and I: How New Digital Technologies Are Making Smart People and Businesses Smarter by Automating Rote Work*. Cognizant. Obtido de <https://www.cognizant.com/InsightsWhitepapers/the-robot-and-i-how-new-digital-technologies-are-making-smart-people-and-businesses-smarter-codex1193.pdf>
- Deloitte. (2016). *Global Manufacturing Competitiveness Index*.
- Deloitte. (2019). *2019 Deloitte Global Human Capital Trends*. Obtido em Junho de 2021, de https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/5136_HC-Trends-2019/DI_HC-Trends-2019.pdf
- Dilberoglu, U. M., Gharehpapagh, B., Yaman, U., & Dolen, M. (2017). The role of additive manufacturing in the era of Industry 4.0. *27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, (pp. 545-554). Modena, Italy.
- Dubovicki, S., & Jukić, R. (2017). The importance of acquiring pedagogical and didactic competencies of future teachers – the Croatian context. *Early Child Development and Care*, 187(10), 1557-1568. doi:10.1080/03004430.2017.1307839
- Erol, S., Schumacher, A., & Sihn, W. (2016). Strategic guidance towards Industry 4.0 - a three-stage process model. *International Conference on Competitive Manufacturing* . Vienna, Austria .
- European Commission. (6 de 11 de 2018). *Coordination of European, national & regional initiatives*. Obtido de European Commission: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/coordination-european-national-regional-initiatives>
- European Commission. (2020). *The Digital Economy and Society Index (DESI)*.
- EY. (2017). *Leapfrogging to Education 4.0: Student at the core*. India: Ernst & Young LLP.

EY. (2021). *Higher education in India: Vision 2040*. India: Ernst & Young LLP.

Fisk, P. (24 de Janeiro de 2017). Education 4.0 ... the future of learning will be dramatically different, in school and throughout life. Obtido de <http://www.thegeniusworks.com/2017/01/future-education-young-everyone-taught-together/>

Gaur, A., Scotney, B., Parr, G., & McClean, S. (2015). Smart City Architecture and its Applications based on IoT. *Procedia Computer Science*, 1089-1094.

Gerbert, P., Lorenz, M., Rüßmann, M., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. *Boston Consulting Group*.

Graham, R. (2018). *The global state of the art in engineering education*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.

Gunal, M., & Karatas, M. (2019). Industry 4.0, Digitisation in Manufacturing, and Simulation: A Review of the Literature. pp. 19-37. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-04137-3_2

Guoping, L., Yun, H., & Aizhi, W. (2017). Fourth Industrial Revolution: Technological Drivers, Impacts and Coping Methods. pp. 626-637.

Gural, M. (2019). Simulation for the Better: The Future in Industry 4.0. Em *Simulation for Industry 4.0* (pp. 275-283).

Hagel, J., Brown, J. S., & Wooll, M. (30 de Agosto de 2019). Skills change, but capabilities endure. *Deloitte Insights*, 1-20. Obtido em Junho de 2021, de https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/6332_From-skills-to-capabilities/6332_Skills-change-capabilities-endure.pdf

Hannibal, M., & Knight, G. (2018). Additive manufacturing and the global factory: Disruptive technologies and. *International Business Review*, 27, 1116-1127.

Hariharasudan, A., & Kot, S. (2018). A Scoping Review on Digital English and Education 4.0 for Industry 4.0. *Social Science*, 7. doi:<https://doi.org/10.3390/socsci7110227>

Harvard Business Review. (20 de Abril de 2017). *Thinking Through How Automation Will Affect Your Workforce*. Obtido de Harvard Business Review: <https://hbr.org/2017/04/thinking-through-how-automation-will-affect-your-workforce>

Hashem, I., Yaqoob, I., Anuar, N. B., Mokhtar, S., Gani, A., & Khan, S. U. (2014). The rise of “big data” on cloud computing: Review and open research issues. *Information Systems*, 98-115.

He, H., Maple, C., Watson, T., Tiwari, A., Mehnen, J., Jin, Y., & Gabrys, B. (2016). The security challenges in the IoT enabled cyber-physical systems and opportunities for evolutionary computing & other computational intelligence. *IEEE Congress on Evolutionary* (pp. 1015-1021). Vancouver, Canada: IEEE.

Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2015). *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*. Dortmund : ResearchGate.

Hofmann, E., & Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 23-34.

ILO. (2015a). *Global Employment Trends for Youth 2015. Scaling up investments in decent jobs for youth*. Geneva.

International Labour Office. (2015). *Anticipating and matching skills and jobs - Guidance Note*. Geneva. Obtido de https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---ifp_skills/documents/publication/wcms_534307.pdf

International Labour Organisation (ILO). (2015). *Anticipating and Matching Skills and Jobs*. Geneva.

Jazdi, N. (2014). Cyber Physical Systems in the Context of Industry 4.0. *IEEE: International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics*. Stuttgart, Germany.

Jiang, R., Kleer, R., & Piller, F. T. (2017). Predicting the future of additive manufacturing: A Delphi study oneconomic and societal implications of 3D printing for 2030. *Technological Forecasting & Social Change*, 84-97.

Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. Frankfurt: National academy os science and engineering .

Kannus, K., & Ilvonen, I. (2018). Future Prospects of Cyber Security in Manufacturing: Findings from a Delphi Study. *Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences*, (pp. 4762-4771). Hawaii.

Kiel, D., Müller, J. M., Arnold, C., & Voigt, K.-i. (2017). Sustainable Industrial Value Creation: Benefits and Challenges of Industry 4.0. *International Journal of Innovation Management*.

Kim, H., Lin, Y., & Tseng, T.-L. B. (2018). A review on quality control in. *Rapid Prototyping Journal*, 645-699.

Koptez, H. (2011). *Real-time systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications*. Boston, MA: Springer US.

Küpper, D., Kuhlmann, K., Köcher, S., Dauner, T., & Burggräf, P. (2016). *The Factory of the Future*. The Boston Consulting Group.

Kushlev, K., Proulx, J. D., & Dunn, E. W. (2017). Digitally connected, socially disconnected: The effects of relying on Technology rather than other people. *Computers in Human Behavior*, 68-74.

Lasi, H., Kemper, H.-G., Fettke, P., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 239-242.

Lawrence, R., Ching, L. F., & Abdullah, H. (2019). Strengths and Weaknesses of Education 4.0 in the Higher Education Institution. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 9, 2278-3075.

Lee, J. (2015). Smart Factory Systems. *Informatik Spektrum*, 230-235.

Lee, J. H., & Shvetsova, O. A. (2019). The Impact of VR Application on Student's Competency Development: A Comparative Study of Regular and VR Engineering Classes with Similar Competency Scopes. *Sustainability*, 11(8). doi:<https://doi.org/10.3390/su11082221>

- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 18-23.
- Lezzi, M., Lazoi, M., & Corallo, A. (2018). Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference. *Computers in Industry*, 97-110.
- Liao, Y., Deschamps, F., Ramos, L. F., & Loures, E. d. (2017). Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 3609-3629.
- Lombardi, P., Giordano, S., Farouh, H., & Yousef, W. (2012). Modelling the smart city performance. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 137-149.
- Loshkareva, E., Luksha, P., Ninenko, I., Smagin, I., & Sudakov, D. (2018). *Skills of the Future: How to thrive in a complex new world*. Global Education Futures & World Skills Russia & Future Skills . Obtido de https://www.globaledufutures.org/images/people/WSdoklad_12_okt_eng-ilovepdf-compressed.pdf
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A Survey on Technologies, Applications and Open Research Issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10.
- Luksha, P., Cubista, J., Laszlo, A., Popovich, M., & Ninenko, I. (2018). *Educational Ecosystems For Societal Transformation*. Global Education Futures 2018. Obtido de http://www.globaledufutures.org/images/people/GEF_april26-min.pdf
- Luksha, P., Spencer-Keyse, J., & Cubista, J. (2020). *Learning Ecosystems: An emerging Praxis for the Future of Education*. Moscow: Moscow School of Management SKOLKOVO & Global Education Futures. Obtido de <https://drive.google.com/file/d/1PJPlvChw1ElcxHY402oTqw0Mf2fsRiC/view>
- Makrini, I. E., Elprama, S. A., Bergh, J. V., Vanderborgh, B., Knevels, A.-J., Jewell, C. I., . . . Jacobs, A. (2018). Working with Walt: How a Cobot Was Developed and Inserted on an Auto Assembly Line. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 51-58.
- Male, T. (2016). Digital technologies: Implications For Educational Organisations And Settings In The Twenty-First Century. *Educational Futures*.
- ManPowerGroup. (2018). *2018 Talent Shortage Survey: Solving the Talent Shortage. Build, Buy, Borrow and Bridge*. ManPowerGroup. Obtido de [https://go.manpowergroup.com/hubfs/TalentShortage%202018%20\(Global\)%20Assets/PDFs/MG_TalentShortage2018_lo%206_25_18_FINAL.pdf](https://go.manpowergroup.com/hubfs/TalentShortage%202018%20(Global)%20Assets/PDFs/MG_TalentShortage2018_lo%206_25_18_FINAL.pdf)
- ManPowerGroup. (2019). *Talent Shortage 2020: Closing the Skills Gap.What Workers Want*. ManPowerGroup. Obtido de <https://workforce-resources.manpowergroup.com/closing-the-skills-gap-know-what-workers-want/closing-the-skills-gap-know-what-workers-want>
- Manyika, J., Chui, M., Miremadi, M., Bughin, J., George K., Willmott, P., & Dewhurst, M. (2017). *A future that works: Automation, employment, and productivity*. McKinsey Global Institute. Obtido de https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Featured%20Insights/Digital%20Disruption/Harnessing%20automation%20for%20a%20future%20that%20works/MGI-A-future-that-works_Full-report.ashx

- Masoni, R., Ferrise, F., Bordegoni, M., Gattullo, M., Uva, A. E., Fiorentino, M., . . . Donato, M. D. (2017). Supporting remote maintenance in industry 4.0 through augmented reality. *27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, (pp. 1296-1302). Modena, Italy.
- Maynard, A. D. (Dezembro de 2015). Navigating the Fourth Industrial Revolution. *Nature Nanotechnology*, pp. 1005-1006.
- McKinsey & Company. (2018). *Smart cities: Digital solutions for a more livable future*.
- McKinsey & Company. (Outubro de 2018). *Thriving amid turbulence: Imagining the cities of the future*. Obtido de McKinsey&Company.
- McKinsey Digital. (2016). *Industry 4.0 after the initial hype. Where manufacturers are finding value and how they can best capture it*. McKinsey & Company.
- McKinsey Global Institute. (2012). *The world at work. Jobs, pay and skills for 3.5 billion people*. McKinsey Global Institute. Obtido de https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Featured%20Insights/Employment%20and%20Growth/The%20world%20at%20work/MGI%20Global_labor_Full_Report_June_2012.pdf
- Meng, Y., Yang, Y., Chung, H., Lee, P.-H., & Shao, C. (2018). Enhancing Sustainability and Energy Efficiency in Smart Factories: A Review. *Sustainability*.
- Mezied, A. A. (22 de Janeiro de 2016). *What role will education play in the Fourth Industrial Revolution?* Obtido de World Economic Forum: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/what-role-will-education-play-in-the-fourth-industrial-revolution/>
- Mian, S. H., Salah, B., Ameen, W., Moiduddin, K., & Alkhalefah, H. (2020). Adapting Universities for Sustainability Education in Industry 4.0: Channel of Challenges and Opportunities. *sustainability*. doi:10.3390/su12156100
- Mohamed, Z., Valcke, M., & De Wever, B. (2017). re they ready to teach? Student teachers' readiness for the job with reference to teacher competence frameworks. *Journal of Education for Teaching*, 43(2), 151-170. doi:<https://doi.org/10.1080/02607476.2016.1257509>
- Monostori, L., Kádár, B., Bauernhansl, T., Kondoh, S., Kumara, S., Reinhart, G., . . . Ueda, K. (18 de Julho de 2016). Cyber-physical systems in manufacturing. *CIRP Annals*, 65(2), pp. 621-641.
- Morrar , R., Arman, H., & Mousa, S. (Novembro de 2017). The Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0): A Social Innovation Perspective. *Technology Innovation Management Review*, pp. 12-20.
- Mrugalska, B., & Wyrwicka, M. K. (2017). Towards Lean Production in Industry 4.0. *7th International Conference on Engineering, Project, and Production Management*, (pp. 466-473). Poznan, Poland.
- Nagy, J., Oláh, J., Erdei, E., Máté, D., & Popp, J. (2018). The Role and Impact of Industry 4.0 and the Internet of Things on the Business Strategy of the Value Chain—The Case of Hungary. *Sustainability*.
- Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A Human-Centric Solution. *Sustainability*. doi:10.3390/su11164371
- Nayar, B., & Koul, S. (2020). The holistic learning educational ecosystem: A classroom 4.0 perspective. *Higher Education Quarterly*, 1-15. doi:<https://doi.org/10.1111/hequ.12271>

OCDE . (2016). *Skills Matter: Further Results from the Survey of Adult Skills*. Paris: OCDE Publishing. doi:<http://dx.doi.org/10.1787/9789264258051-en>

OCDE. (2018). *Future of Education and Skills 2030 - project background*. Obtido de OECD: https://www.oecd.org/education/2030-project/about/E2030%20Introduction_FINAL.pdf

OCDE. (2018). *Skills For Jobs*. OCDE Publishing. Obtido de https://www.oecdskillsforjobsdatabase.org/data/Skills%20SfJ_PDF%20for%20WEBSITE%20final.pdf

OCDE. (2018). *Skills for Jobs - Portugal Country note*. OCDE publishing. Obtido de https://www.oecdskillsforjobsdatabase.org/data/country_notes/Portugal%20country%20note.pdf

Østergaard, S. F., & Nordlund, A. G. (20 de Dezembro de 2019). *The 4 biggest challenges to our higher education model – and what to do about them*. Obtido de World Economic Forum: <https://www.weforum.org/agenda/2019/12/fourth-industrial-revolution-higher-education-challenges/>

Paelke, V. (2014). Augmented Reality in the Smart Factory: Supporting Workers in an Industry 4.0. Environment. *IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)*.

Paul, P. k., & Ghose, M. K. (2012). Cloud Computing: possibilities, challenges and opportunities with special reference to its emerging need in the academic and working area of Information Science. *International Conference on Modeling Optimisation and Computing*, (pp. 2222-2227).

Pedersen, M. R., Nalpantidis, L., Andersen, R. S., Schou, C., Bøgh, S., Krüger, V., & Madsen, O. (2016). Robot skills for manufacturing: From concept to industrial deployment. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 282-291.

Pereira, A., & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0. *Manufacturing Engineering Society International Conference* (pp. 1206-1214). Vigo, Spain: Procedia Manufacturing .

Petrolo, R., Loscri, V., & Mitton, N. (2015). Towards a smart city based on cloud of things, a survey on the smart city vision and paradigms. *Transactions On Emerging Telecommunications Technologies*.

Prinz, C., Morlock, F., Freith, S., Kreggenfeld, N., Kreimeier, D., & Kühlenkötter, B. (2016). Learning Factory Modules for Smart Factories in Industrie 4.0. *Procedia CIRP*, 54, 113-118.

Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. *Changeable, Agile, Reconfigurable & Virtual Production* (pp. 173-178). Cardiff: Elsevier.

Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., & Madsen, E. S. (2013). The Smart Factory: Exploring Adaptive and Flexible Manufacturing Solutions. *24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation* (pp. 1184-1190). Denmark: Elsevier.

Reis, J. Z., & Gonçalves, R. F. (2018). Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing for Industry 4.0. *IFIP WG 5.7 International Conference* (pp. 20-26). Seoul: APMS 2018.

Roblek, V., Mesko, M., & Krapez, A. (2016). A Complex View of Industry 4.0. SAGE.

Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. BCG.

Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Geneva: Crown Publishing Group.

Schwarz, A., Koettl, J., Arias, O., Zviniene, A., Rudolph, H., Eckardt, S., . . . Abels, M. (2014). *The Inverting Pyramid: Pension Systems Facing Demographic Challenges in Europe and Central Asia*. Washington, D.C.: The World Bank. Obtido de <http://documents.worldbank.org/curated/en/514831468029365694/pdf/Main-report.pdf>

Shen, W., Hao, Q., Yoon, H. J., & Norrie, D. H. (2016). Applications of agent-based systems in intelligent manufacturing: An updated review. *Advanced Engineering Informatics*, 415-431.

Shin, Y. C. (2016). Predictive Theoretical and Computational for additive Manufacturing: Proceedings of a Workshop. Em *Predictive Theoretical and Computational for additive Manufacturing: Proceedings of a Workshop* (pp. 81-102). Washington, DC: The National Academies Press.

Ślusarczyk, B. (2018). Industry 4.0 - Are we ready? *Polish Journal of Management Studies*, 232-248.

Suri, K., Cuccuru, A., Cadavid, J., Gérard, S., Tata, S., & Gaaloul, W. (2017). Model-based Development of Modular Complex Systems for Accomplishing System Integration for Industry 4.0. *5th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development*. Porto.

Tang, S. Y., Wong, A. K., & Cheng, M. M. (2015). The preparation of highly motivated and professionally competent teachers in initial teacher education. *Journal of Education for Teaching*, 41(2), 128-144. doi:10.1080/02607476.2015.1010875

Thuemmler, C., & Bai, C. (2017). Application of Industry 4.0 Design Principles in Future Asthma Management. Em *Health 4.0* (pp. 23-27).

Tighar, E., Keynan, S., Siegman, J., & Paikowsky, D. (2018). *Unlocking Industry 4.0 Potential: Transforming through startup-manufacturer collaborations and the unique role of the Israeli startup ecosystem*.

Tofail, S. A., Koumoulos, E. P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O'Donoghue, L., & Charitidis, C. (2018). Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. *Materials Today*, 22-37.

United Nations. (Setembro de 2015). The 2015 Revision of the UN's World Population Projections. *Population and Development Review*, 41(3), 557-561. Obtido em 22 de Janeiro de 2020, de www.jstor.org/stable/24638672

Vermesan, O., Friess, P., Guillemin, P., Sundmaeker, H., Gusmeroli, S., Bassi, A., . . . Doody, P. (2009). Internet of Things Strategic Research Roadmap. 7-142. Gistrup, Denmark, Brussels: Rivers Publishers. Obtido de <http://hdl.handle.net/11250/2430372>

Vogel-Heuser, B., & Hess, D. (2016). Guest Editorial Industry 4.0—Prerequisites and Visions. *IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATION SCIENCE AND ENGINEERING*, 411-413.

Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*.

Webel, S., Bockholt, U., Engelke, T., Gavish, N., Olbrich, M., & Preusche, C. (2013). An augmented reality training platform for assembly and maintenance skills. *Robotics and Autonomous Systems*, 398-403.

Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., & Gorecky, D. (2015). Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems for highly. *International Federation of Automatic Control*, 579-584.

World Economic Forum. (2016). *The Future of Jobs*. Geneva: World Economic Forum. Obtido de http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf

World Economic Forum. (2018). *Readiness for the Future of Production Report 2018*.

World Economic Forum. (2018). *The Future of Jobs Report*. Geneva: World Economic Forum. Obtido de http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2018.pdf

World Economic Forum. (2018). *The Global Competitiveness Report* .

World Economic Forum. (2020). *Schools of the Future - Defining New Models of Education for the Fourth Industrial Revolution*. Geneva: World Economic Forum. Obtido de https://widgets.weforum.org/reskillingrevolution/wp-content/uploads/2020/05/WEF_Schools_of_the_Future_Report_2019.pdf

World Economic Forum. (2020). *The Future of Jobs Report*. Geneva: World Economic Forum. Obtido de http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2020.pdf

Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (9 de Mar de 2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 2941-2962.

Xu, X. (2012). From cloud computing to cloud manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 75-86.

Yee, T., & Yoon, M. (2018). Evaluation of cooperative learning: Does it enhance learning among the Gen Z learners?, 4, pp. 28-38. Malaysia . doi:<https://doi.org/10.17501/icedu.2018.4104>

Zheng, X., Martin, P., Brohman, K., & Xu, L. D. (Maio de 2014). Cloud Service Negotiation in Internet of Things Environment: A Mixed Approach. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 1506-1515.



2021

Ana Luísa Gomes Baltazar

EDUCAÇÃO 4.0: DESAFIOS E OPORTUNIDADES