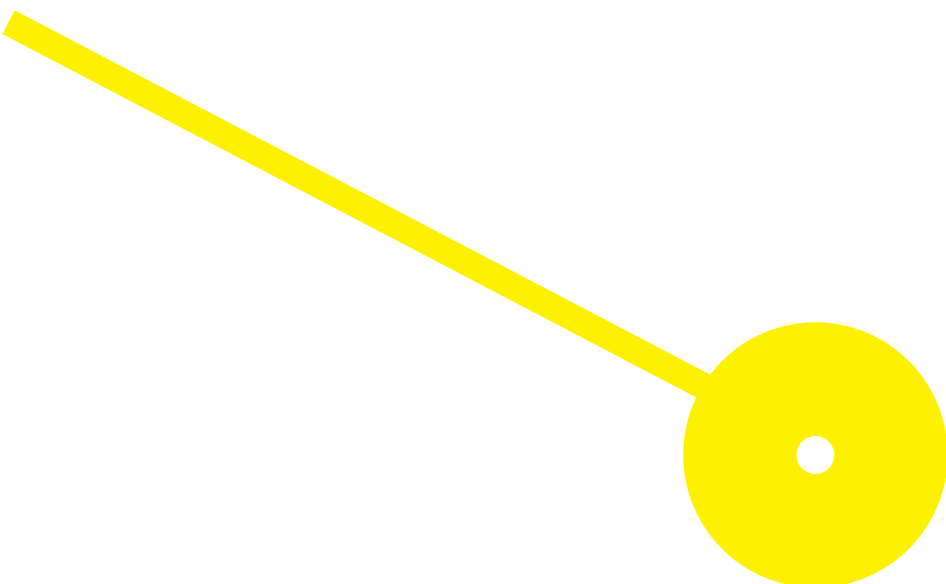




Competências Digitais nos Locais de Trabalho: uma Revisão Sistemática da Literatura

Ana Raquel Marques Domingues

10/2022





**ESCOLA
SUPERIOR
DE SAÚDE**

Competências Digitais nos Locais de Trabalho: Uma Revisão Sistemática da Literatura

Autor

Ana Raquel Marques Domingues

Orientador(es)

Doutora/Joana Carvalho dos Santos/ ESS |P.PORTO

Doutora/Ana Pinto/ Universidade de Coimbra

Doutora/ Ana Cristina Simões/INESC TEC

Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Higiene e Segurança nas Organizações pela Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico do Porto

Agradecimentos

“A persistência é o caminho do êxito”

Charles Chaplin

Deixo o meu especial agradecimento à Professora Joana Santos, da Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico do Porto, por todo o apoio prestado na realização da Dissertação, pela disponibilidade, incentivo, motivação e transmissão de conhecimento. Apesar das longas horas de trabalho, nunca deixou de estar presente nesta caminhada.

Agradeço também às co-orientadoras, Doutora Ana Simões e à Doutora Ana Pinto pela partilha de informação e pelo apoio prestado.

Um agradecimento muito importante e especial à minha família, aos meus amigos e às minhas colegas de trabalho que me incentivaram, motivaram e ajudaram na concretização deste objetivo.

Resumo

A automatização e a transformação digital têm causado um impacto significativo na sociedade, implicando o aumento das competências e qualificações dos trabalhadores. A Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho refere como estratégia a existência de um sistema educativo e formação adaptada para os trabalhadores. O objetivo principal deste estudo foi identificar e analisar soluções digitais/tecnológicas que visem melhorar a aquisição de competências digitais e a interação do humano com a tecnologia no contexto do trabalho, promovendo a segurança e saúde dos trabalhadores, através de uma revisão sistemática da literatura. Esta revisão seguiu a metodologia *PRISMA Scoping review*. Com a análise dos estudos, foi possível verificar que a maioria teve como objetivo a criação de ambientes de aprendizagem com a componente prática de simulação, sendo a Realidade Virtual a mais utilizada para a aquisição de competências digitais. Constatou-se ainda a necessidade de competências digitais complexas por parte dos participantes dos estudos, devido à sua interação com tecnologias. O presente estudo permitiu demonstrar que as tecnologias digitais são uma forma eficaz para a formação dos trabalhadores, destacando a sua importância na atualização de conhecimentos e aquisição de competências, para permanência no mercado de trabalho e sucesso das organizações.

Palavras-chave: Competências digitais; Tecnologia; Formação; Interação humano-robô; Indústria 4.0

Abstract

The automation and digital transformation caused a significant impact on society, with a significant increase on the workforce competencies and accreditations. The European Agency for Safety and Health at Work created a strategy to create a learning and development program focused on these workers. This study's main goal was to, through extensive literature revision, identify and analyse digital and technological solutions that improve the learning rate of digital skills and the interaction between the human and technology in the labour context, therefore promoting the workers' safety and health. This review followed the *PRISMA Scoping review* methodology. During the literature review, to was possible to identify that the majority of these studies had the goal of creating a learning environment based on context simulation, having Virtual Reality (VR) been the most used technology to increase workers digital skills. It was also observed that, due to the interaction with advanced technologies, workers needed to have a complex digital understanding. The current study shown that an effective way of creating learning programs for workers is through digital technologies, which importance is significant to increase the workers' capabilities in the market and their organisations success.

Keywords: Digital skills; Technology; Learning & Development; Human-Robot interaction; Industry 4.0.

Índice

1.	Introdução.....	1
1.1.	Objetivos da Dissertação.....	2
1.2.	Fundamentação Teórica.....	2
1.2.1.	Evolução Industrial.....	2
1.2.2.	Indústria 4.0	3
1.2.3.	Indústria 5.0	4
1.3.	Interação Humano-robô (sistema Homem-máquina)	5
1.3.1.	Ergonomia e Segurança no Trabalho na interação humano-robô.....	10
1.4.	Formação e Competências em Ambientes de Trabalho Digitais	19
1.4.1.	Perfil de Competências dos Trabalhadores no Setor Industrial.....	24
1.4.2.	<i>Learning Factory</i>	30
2.	Métodos.....	32
2.1.	Protocolo.....	32
2.2.	Fontes de Informação.....	32
2.3.	Estratégias de Pesquisa	32
2.4.	Crerios de Elegibilidade.....	33
2.5.	Gestão de Dados.....	34
2.6.	Estruturação de Resultados.....	34
3.	Resultados e Discussão	34
3.1.	Caracterização dos Estudos.....	36
3.1.1.	Ano de Publicação	36
3.1.2.	Análise dos Estudos	36
3.1.2.1	Criação de ambientes de aprendizagem.....	41
3.1.2.2	Desenvolvimento de Plataformas de Formação.....	50
3.1.2.3	Desenvolvimento de currículos escolares	51
3.1.3.	Estudos experimentais e instrumentação.....	52
3.1.4.	Estudos classificados com base nas competências digitais.....	55
4.	Conclusões e Perspetivas Futuras.....	60
	Referências Bibliográficas	62

Índice de Figuras

Figura 1 – Robôs da atualidade.....	7
Figura 2 – Razões para as empresas investirem em sistemas robóticos. Adaptado de IFR (2019).....	8
Figura 3 – Formas de interação humano-robô. Adaptado de: Bauer et al. (2016).....	9
Figura 4 – Considerações para os sistemas de design centrados nos humanos. Adaptado de: Gualteri, Rauch, et al. (2020)	12
Figura 5 – Fatores relevantes para a ergonomia. Adaptado de: IEA, nd.....	13
Figura 6 – Condições de segurança na interação humano-robô. Adaptado de: Bi et al. (2021)	16
Figura 7 – Enquadramento Legal. Adaptado de: Matt et al. (2020).....	18
Figura 8 – Ranking DESI de 2021 dos Estados Membros. Adaptado de: European Commission (2021a)	22
Figura 9 – Metas para a transformação digital da Europa até 2030.....	23
Figura 10 – Ciclos de formação. Adaptado de: Oberc et al. (2019).....	27
Figura 11 – Exemplo de um layout de uma Learning factory. Adaptado de: Maheso et al. (2019).....	31
Figura 12 – Diagrama do fluxo PRISMA.	35
Figura 13 – Número de publicações por ano.....	36
Figura 14 – Estrutura das competências. Adaptado de: Grzelczak et al. (2017).....	48
Figura 15 – Desenvolvimento de competências. Adaptado de: Daling et al. (2019).....	49

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Palavras-chave e sinónimos utilizados na pesquisa bibliográfica.....	33
Tabela 2 – Categorização dos estudos com base no objetivo.	37
Tabela 3 – Análise dos estudos incluídos.	37
Tabela 4 – Principais competências identificadas nos estudos.	45
Tabela 5 – Instrumentação e/ou tecnologia utilizada nos estudos.....	53
Tabela 6 – Classificação dos estudos com base nas competências digitais adquiridas.....	55

1. Introdução

A Indústria 4.0 (I4.0), também denominada como a quarta revolução industrial, pode ser considerada como a convergência de vários conceitos emergentes e a adoção de novas tecnologias. A integração de tecnologias avançadas da I4.0 nas empresas torna necessária uma reestruturação dos sistemas de produção, transformando fluxos de trabalho analógicos e centralizados, em processos de produção digitais e descentralizados. Estima-se que a utilização destas tecnologias aumente significativamente a produtividade das empresas em 45% a 55% (Raj, Dwivedi, Sharma, Lopes de Sousa Jabbour, & Rajak, 2020). Apesar do progresso tecnológico, a presença de operadores humanos ainda é fundamental para a produção industrial. Os trabalhadores passaram da função de manusear as máquinas para a função de supervisionar e monitorizar os processos, agindo prontamente em caso de falhas nas máquinas ou alterações na produção (Villani, Sabattini, Loch, Vogel-Heuser, & Fantuzzi, 2021). Desta forma, verifica-se que para além do impacto significativo no mercado de trabalho, a I4.0 também apresenta um grande impacto na sociedade. Com a adoção de novas tecnologias para fazer face às exigências do mercado (ex. grande variedade de produtos em pequenos lotes, rapidez no lançamento de novos produtos) e com a transformação dos processos produtivos simples para processos mais complexos, prevê-se mudanças significativas no local/ambiente de trabalho, exigindo aos trabalhadores das empresas novas competências neste novo cenário. A automatização e a transformação digital das empresas leva a um aumento do número de empregos mais qualificados e, consequentemente, à redução de empregos que exigem qualificações mais baixas (Horváth & Szabó, 2019). Atualmente, nas empresas, para além das competências técnicas exigidas, para a implementação do paradigma da I4.0, existem muitas outras competências que devem ser adquiridas pelos trabalhadores, principalmente no âmbito das competências digitais. As competências digitais compreendem todas as competências relacionadas com o mundo digital, desde as competências básicas de literacia digital, às competências digitais para a força de trabalho em geral, até às competências digitais específicas para os profissionais de Tecnologias de Informação e Comunicação (Motyl, Baronio, Uberti, Speranza, & Filippi, 2017).

Para colmatar a falta de trabalhadores com estes níveis de qualificação é necessário desenvolver estratégias. As estratégias de qualificação podem compreender diferentes métodos e técnicas, como formações e mudanças no sistema de educação, para a aquisição de competências específicas (Hecklau, Galeitzke, Flachs, & Kohl, 2016). A formação e o desenvolvimento profissional contínuo são considerados fatores fundamentais para que as empresas sejam bem sucedidas na implementação do paradigma da I4.0, uma vez que permitem transformar significativamente os perfis de trabalho e as competências dos trabalhadores. Como consequência, as parcerias entre empresas/indústrias e instituições de ensino serão ainda mais importantes no futuro, tornando-se essencial a implementação de iniciativas conjuntas para colmatar a lacuna de conhecimentos e competências entre a realidade académica e industrial (Motyl et al., 2017). Neste âmbito, a Agência Europeia para a Segurança e Saúde

no Trabalho também descreve algumas estratégias que podem ajudar a mitigar os principais desafios provenientes da automatização das empresas, sendo uma delas a existência de um sistema educativo e formação adaptados para os trabalhadores (European Agency for Safety and Health at Work, 2020). Em Portugal, de acordo com a Lei n.º 102/2009 de 10 de setembro (e respetivas alterações), o empregador deve assegurar ao trabalhador condições de segurança e saúde em todos os aspetos do seu trabalho, constituindo uma das obrigações gerais do empregador, a adaptação ao estado de evolução da técnica, bem como a novas formas de organização do trabalho (art.º 15.º, Lei n.º 3/2014). Segundo o artigo 5º da presente Lei, a educação, a formação e a informação para a promoção da melhoria da segurança e saúde no trabalho é uma das medidas de prevenção dos riscos profissionais que o empregador deve ter em consideração.

1.1. Objetivos da Dissertação

Considerando a pertinência da temática da digitalização nos locais de trabalho e o seu impacto na segurança e saúde, aliado à necessidade de desenvolver sistemas ou programas de educação e formação adaptados para trabalhadores, este trabalho teve como principal objetivo identificar e analisar soluções digitais/tecnológicas que visem melhorar a aquisição de competências digitais e também a interação do humano com tecnologia no contexto de trabalho e, consequentemente, promovam a segurança e saúde dos trabalhadores.

Foram ainda definidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificação do tipo de tecnologias que podem ser utilizadas pelas organizações para a formação dos seus trabalhadores;
- Identificação e análise dos requisitos necessários para a criação de ambientes de aprendizagem;
- Identificação e análise das principais competências dos trabalhadores no âmbito da I4.0;
- Análise da importância da atualização dos currículos escolares;
- Classificação dos estudos incluídos na revisão sistemática da literatura, com base nas competências digitais.

1.2. Fundamentação Teórica

1.2.1. Evolução Industrial

As evoluções no setor industrial relacionaram-se diretamente com as evoluções tecnológicas e a sua implementação nos processos produtivos. Estas evoluções provocaram, ao longo dos anos, mudanças

no mundo tecnológico e, consequentemente, transformações a nível económico, político e social (Ramos, 2016).

A primeira revolução industrial teve início no séc. XVIII, na Inglaterra, no setor da indústria têxtil, devido ao rápido crescimento da população e o crescente fluxo migratório do campo para as grandes cidades, o que provocou um excesso de mão de obra. Esta revolução, implicou uma passagem do fabrico manual e artesanal, para a utilização de máquinas a vapor nos processos de produção (Cavalcante & da Silva, 2011).

A segunda revolução industrial teve início no final do séc. XIX e foi caracterizada pelo aprimoramento e aperfeiçoamento das tecnologias utilizadas na primeira revolução, com o objetivo das indústrias produzirem em larga escala, com a utilização de novas fontes de energia, como o petróleo, a eletricidade e o gás (Boettcher, 2015). Os Estados Unidos e a Alemanha foram considerados as grandes potências industriais, seguidos da Inglaterra e da França. Assim, a segunda revolução esteve associada a desenvolvimentos técnicos e científicos da produção industrial e nas fontes energéticas (Ramos, 2016).

No final do séc. XX, ocorre a terceira revolução industrial que se caracteriza pela evolução tecnológica, pela energia nuclear, pela evolução das telecomunicações e do setor da aviação e pelas viagens espaciais. Trata-se sobretudo de uma fase marcada pelas tecnologias, com a utilização de computadores, robótica, sensores, meios eletrónicos de controlo de produção, com capacidade de produzir uma elevada quantidade de informação (Mendes, 2006).

1.2.2. Indústria 4.0

As três primeiras revoluções industriais surgiram como resultado da mecanização, da eletricidade e do desenvolvimento tecnológico (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013). Em 2011, na Alemanha, surgiu o conceito de Indústria 4.0 (I4.0). Este conceito surgiu como forma de enfrentar dificuldades mais recentes nos sistemas de produção, através da utilização de tecnologias, criação de novos modelos de trabalho e de negócio, renovando o setor para a transformação digital. O objetivo da I4.0 é conectar o mundo físico com o virtual, trabalhando elevados níveis de automatização, alcançando assim elevados níveis de produtividade operacional e de eficiência (Alcácer & Cruz-Machado, 2019).

Segundo Maresova et al. (2018), a I4.0 pode ser definida como a interligação entre as máquinas, sistemas de produção e equipamentos eletrónicos, que podem ser utilizados para que as empresas/indústrias, criem redes inteligentes ao longo de toda a cadeia de valor da organização, de forma a controlar e comandar os processos de produção de forma independente.

Já de acordo com Alcácer e Cruz-Machado (2019), a I4.0 pode ser caracterizada como a produção de sistemas ciber-físicos (*Cyber-Physical Systems* – CPS), com base em dados heterogéneos e integração de conhecimentos, podendo ser assumido como processos de produção contínuos, integrados, adaptados, otimizados e serviços orientados que estão diretamente correlacionados com algoritmos, *Big Data* (BD), tecnologias como a *internet* das coisas (*Internet of Things* – IoT) e dos serviços (*Internet of Services* – IoS), automatização industrial, Cibersegurança (*CyberSecurity* – CS), *Cloud Computing* (CC) ou Inteligência Robótica (*Intelligent Robotics*). A intenção deste novo modelo é que as empresas aumentem o nível de automatização, trabalhando juntamente com os clientes e fornecedores em ecossistemas digitais (De Carvalho, Tiosso, & Reis, 2020).

Na perspetiva de produção e na gestão de serviços, a I4.0 procura estabelecer sistemas comunicativos e inteligentes, através de interações máquina-máquina e humano-máquina. Através da análise destas interações as empresas podem ser capazes de otimizar as suas operações, promovendo a autonomia, a agilidade, a flexibilidade e facilidade na tomada de decisões, a eficiência das operações e as respetivas reduções de custo (Alcácer & Cruz-Machado, 2019; Gausemeier & Schuh, 2016).

1.2.3. Indústria 5.0

A indústria 5.0 (I5.0), complementa a abordagem da I4.0, uma vez que para além de ter como objetivo a eficiência das operações e a produtividade das empresas, centra-se em aspetos relacionados com a contribuição e o papel da indústria para a sociedade (European Commission, 2021c). Adicionalmente, coloca o bem estar do trabalhador no centro do processo de produção e utiliza as novas tecnologias para promover a prosperidade e crescimento do emprego, respeitando os limites de produção do planeta, de forma a minimizar os impactos ambientais negativos (Müller, 2020).

A I5.0 é um modelo transformador que deve refletir a evolução do pensamento pós COVID, tendo em consideração as aprendizagens da pandemia e a necessidade de desenhar um sistema industrial mais resiliente a futuros choques e tensões, e que integre verdadeiramente princípios sociais e ambientais. Com o crescimento económico e com a evolução das tecnologias, na perspetiva da I5.0, percebe-se a necessidade da criação de uma visão mais transformadora do crescimento das empresas, focada no progresso humano e no seu bem estar (European Commission, 2022a). Desta forma, o campo da robótica e da Inteligência Artificial (IA) deve acompanhar esta evolução, dado que são áreas em constante crescimento, importantes e fundamentais para o futuro do trabalho (European Agency for Safety and Health at Work, 2015).

1.3. Interação Humano-robô (sistema Homem-máquina)

A revolução industrial ficou caracterizada pelo forte avanço tecnológico (European Agency for Safety and Health at Work, 2015), que provocou uma reorganização das indústrias, no sentido de minimizarem os custos associados ao processo de fabrico, através da utilização de diversos modelos de produção. Estes modelos de produção podem estar associados a processos de automatização, no qual se destaca a automatização programável (relativa à produção em série de pequenos e médios lotes de produtos) e a automatização flexível (relativa à produção de lotes variáveis de produtos diversos). Nestes processos de automatização programável e flexível, tem-se utilizado os robôs industriais, uma vez que são considerados máquinas capazes de realizar diversos movimentos programados, adaptando-se às necessidades operacionais de diferentes tarefas (Romano & Dutra, 2002).

A Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho, faz referência a uma nova “era”, em que as máquinas e os equipamentos podem ser instalados em qualquer lugar, incluindo no corpo humano, fazendo com que os robôs sejam assistentes dos humanos e, a longo prazo, colegas de trabalho (European Agency for Safety and Health at Work, 2015).

O termo *robô* deriva da palavra *Robota*, de origem Eslava, que significa trabalho forçado ou escravo e teve a sua divulgação numa peça teatral “Os Robôs Universais de Russum (R.U.R)”, de Karel Capek em 1921. Na década de 40, o escritor Isaac Asimov, criou o termo *robótica* para designar a ciência que se dedica ao estudo dos robôs e que se fundamenta pela observação de três leis básicas (Rosário, 2010):

1ª Lei: Um robô não pode causar dano a um ser humano, ou pela sua passividade deixar que um ser humano seja maltratado;

2ª Lei: Um robô deve obedecer às ordens dadas por um ser humano, exceto se entrarem em conflito com a 1ª Lei;

3ª Lei: Um robô deve proteger a sua própria existência desde que essa proteção não entre em conflito com a 1ª ou 2ª Lei.

A ISO 8373:2012 define um robô como um mecanismo programável em dois ou mais eixos, com um grau de autonomia, que se move dentro de um ambiente para desenvolver tarefas pretendidas.

A classificação de robô pode diferir em relação à utilização pretendida, em robô industrial e robô de serviço (ISO 8373:2012). Segundo a *International Federation of Robotics* (IFR), e tendo por base a definição da *International Organization for Standardization* (ISO 8373:2012), um robô industrial pode ser definido como “manipulador multiusos, reprogramável e controlado automaticamente, programado em três ou mais eixos”, (IFR, 2019), podendo este ser fixo no local de utilização ou móvel para uso em aplicações de automatização industrial. Por sua vez, o robô de serviço é aquele que executa tarefas úteis para humanos, “destinando-se a apoiar, acompanhar e cuidar de seres humanos, partilhando o

ambiente humano e revelando comportamentos inteligentes básicos na realização de tarefas atribuídas (European Agency for Safety and Health at Work, 2015).

O primeiro robô industrial foi desenvolvido por George Devol e Joseph Engelberg em 1959, designado por *Unimate 1900*. Os dois criadores tinham como objetivo colocar o seu protótipo numa indústria com o intuito de minimizar os efeitos prejudiciais do homem no desenvolvimento das suas tarefas laborais. Em 1961, o *Unimate 1900* foi instalado pela primeira vez numa linha de montagem de uma fábrica em Trenton, New Jersey. O robô *Unimate* tornou-se assim no primeiro braço robótico produzido em larga escala para a automatização das indústrias. Num espaço de tempo relativamente curto, cerca de 450 braços robóticos *Unimate* foram utilizados nas indústrias. Ainda em 1961, Engelberg fundou a empresa *Unimation, Inc.* e apresentou o *Unimate 1900* ao público presente no evento *Chicago's Cow Palace*. Em 1966, o *Unimate 1900* foi apresentado ao mundo no programa *Tonight Show*, sendo que nesta transmissão televisiva o criador do robô fez com que este fosse capaz de realizar vários truques para impressionar as pessoas, desde acertar com uma bola de golfe num copo, a servir uma cerveja. Neste mesmo ano, Engelberg licenciou o robô à *Nokia* da Finlândia, para que estes fossem fabricados na Escandinávia e na Europa Oriental e em 1969, com a *Kawasaki Heavy Industries*, para fabricar e comercializar os robôs para o mercado asiático. Ainda em 1969, com o auxílio do robô *Unimate*, a *General Motors*, revolucionou a indústria automóvel, uma vez que conseguiram atingir um grande marco na rapidez de produção, atingindo a meta dos 110 carros por hora. Outras empresas do ramo como a *BMW*, *Volvo*, *Mercedes Benz*, *British Leyland* e *Fiat* instalaram também nas suas fábricas os braços robóticos *Unimate*, para realizarem tarefas desagradáveis e perigosas pelos trabalhadores, sendo este um benefício muito importante para Engelberg (Robotics Industries Association, n.d.).

A área da robótica sofreu muitas evoluções ao longo dos anos (Figura 1), não só associadas ao setor industrial, mas também ao setor da agricultura, da saúde, da logística, entre outros (European Robotics, 2018).

Na área da saúde, os exemplos incluem robôs que auxiliam idosos, bem como o desenvolvimento de próteses inteligentes e robôs cirúrgicos (European Robotics, 2018). A *Openbionics* é uma empresa que desenvolve dispositivos que aprimoram o corpo humano. O *Hero Arm*, é uma prótese 3D do membro superior, aprovada clinicamente, que para além de ser funcional e mais acessível, é também mais elegante, melhorando o bem estar de quem a utiliza (Openbionics, n.d.).

Os robôs e a área da robótica tornaram-se os principais impulsionadores da competitividade e da flexibilidade no setor da indústria. Os robôs, em associação com a IA têm sido aplicados em inúmeras áreas, desde a área industrial, à médica, à militar, à saúde, à dos transportes, à logística bem como à do entretenimento (EUROP, 2005). Segundo Kolmykova & Merzlyakova (2019), os robôs mais ativos são utilizados em indústrias como a automóvel (cerca de 30% do número total de sistemas robóticos instalados), engenharia elétrica e eletrónica (25%), metalúrgica e mecânica (10%), plásticos e produtos

químicos (5%), alimentos e bebidas (3%). De acordo com Sheridan (2016), os robôs têm sido utilizados em diferentes tarefas de uma linha de montagem industrial, como é o caso da indústria automóvel, realizando tarefas como a separação e colocação de materiais, a soldagem e a pintura.

Os robôs foram desenvolvidos inicialmente para realizar tarefas simples, no entanto, atualmente são cada vez mais concebidos para “pensar” de forma incessante e incansável, recorrendo à IA (European Agency for Safety and Health at Work, 2015).

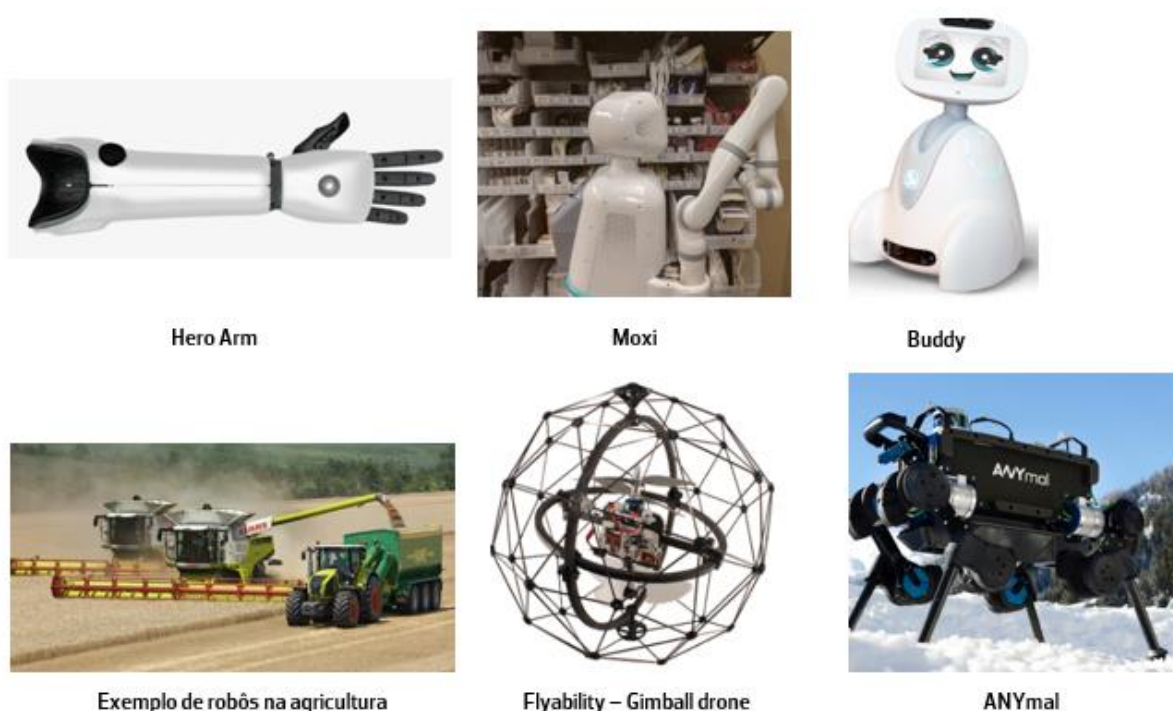


Figura 1 – Robôs da atualidade.

A utilização de robôs nas empresas é cada vez maior, uma vez que trazem inúmeras vantagens aos humanos, como é o caso da realização de tarefas repetitivas, sem provocar dano, e o facto de poderem ser programados para executar várias tarefas distintas (Apriaskar, Fahmizal, & Fauzi, 2020).

Devido ao aumento dos volumes de produção e das variedades de produtos exigidos por vários clientes, nos mercados globais, tornou-se necessário para muitas empresas, o desenvolvimento de sistemas de produção mais flexíveis, que não colocassem em causa a eficiência e a produtividade nas linhas de produção. Para esses sistemas de produção mais flexíveis, as empresas investem fortemente na interação próxima entre humanos e robôs, com o objetivo de que estes troquem informações e compartilhem tarefas tendo em vista o aumento da eficiência e da produtividade do trabalho (A. C. Simões, Pinto, Santos, Pinheiro, & Romero, 2022). A IFR inumera ainda algumas razões pelas quais as empresas devem investir em sistemas robóticos, tal como se pode verificar na Figura 2,

dentro dos quais se destacam os efeitos positivos na qualidade dos produtos, o aumento da produtividade (ciclo produtivo mais rápido e menor quantidade de produto desperdiçado), maior segurança do trabalhador, redução do tempo de trabalho, maior flexibilidade no processo de produção e redução de custos (IFR, 2019).

Os robôs são cada vez mais utilizados para auxiliar o homem em várias tarefas, principalmente tarefas consideradas mais perigosas para o ser humano, uma vez que estes são capazes de calcular e executar operações com o melhor desempenho possível (Cruz, Freitas, & Navaux, 2007). Da mesma forma, os robôs móveis e exoesqueletos têm o potencial de tornar certas tarefas menos exigentes fisicamente, permitindo assim que as mulheres assumam tarefas que anteriormente seriam reservadas aos homens, devido à força física necessária (European Commission, 2021d).

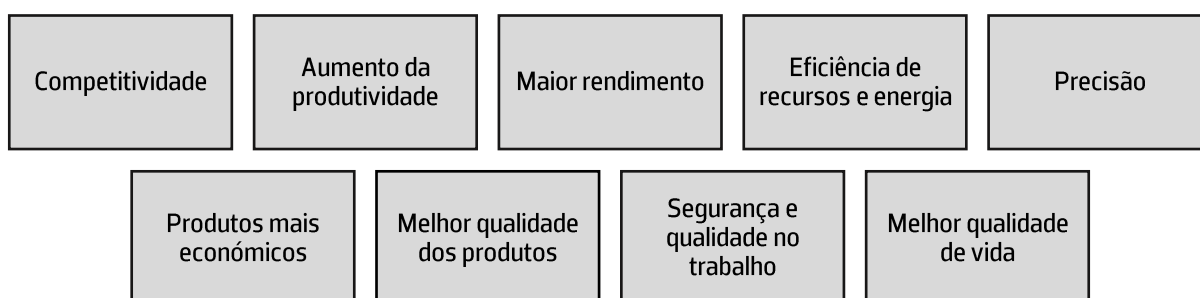


Figura2 – Razões para as empresas investirem em sistemas robóticos. Adaptado de IFR (2019)

De acordo com a *European Robotics Platform*, os robôs podem ser vistos como assistentes dos humanos, ajudando-os no que necessitam, de forma natural e intuitiva. Estes assistentes robóticos podem ser (EUROP, 2005):

- Colegas no local de trabalho: quando são integrados nas empresas e nos sistemas de produção, ajudando os trabalhadores a serem mais produtivos e aumentando o seu nível de habilidade;
- Companheiros de casa: quando proporcionam assistência a pessoas idosas e doentes, através do auxílio à mobilidade e reabilitação; auxiliam também as pessoas nas suas tarefas domésticas, promovendo uma melhor qualidade de vida;
- Assistentes para profissionais de serviço: estes podem ajudar os profissionais a obterem um melhor desempenho, mais rápido, mais seguro e mais económico, em todas as áreas da indústria.

Nos últimos anos, o termo “interação humano-robô” tem sido amplamente discutido e aplica-se a qualquer situação em que os robôs trabalhem diretamente com os humanos, sem qualquer tipo de barreira de segurança (Bauer, Bender, Braun, Rally, & Scholt, 2016). De acordo com a ISO 8373:2012, esta interação pode ser definida como “a troca de informações e ações entre um humano e o robô,

tendo em vista a realização de uma tarefa, por meio de uma interface que inclui assuntos e procedimentos existentes no sistema para a interação com os seus utilizadores”.

No entanto, esta interação só deve acontecer partindo do pressuposto que o trabalho é seguro para o ser humano, independentemente do método utilizado para atingir essa segurança (Aaltonen, Salmi, & Marstio, 2018).

O nível de interação destes está diretamente relacionado com a forma de como o humano e o robô interagem um com o outro, nos seus espaços de trabalho.

De acordo com a literatura (Aaltonen et al., 2018; Arents et al., 2021; Bauer et al., 2016; Kolbeinsson, Lagerstedt, & Lindblom, 2018; Zacharaki, Kostavelis, Gasteratos, & Dokas, 2020), existem diferentes formas de interação humano-robô, tal como se pode verificar na Figura 3, e torna-se importante conseguir distingui-las e classificá-las, nomeadamente:

- Coexistência: o humano e o robô desenvolvem as suas tarefas lado a lado mas não partilham o mesmo espaço;
- Sincronização: o humano e o robô partilham o mesmo espaço de trabalho, mas apenas um está realmente presente no espaço de trabalho a qualquer momento;
- Cooperação: o humano e o robô partilham o mesmo espaço, executam tarefas ao mesmo tempo, mas não trabalham no mesmo produto ou componente;
- Colaboração: o humano e o robô partilham o mesmo espaço, executam tarefas ao mesmo tempo e podem trabalhar simultaneamente no mesmo produto ou componente.

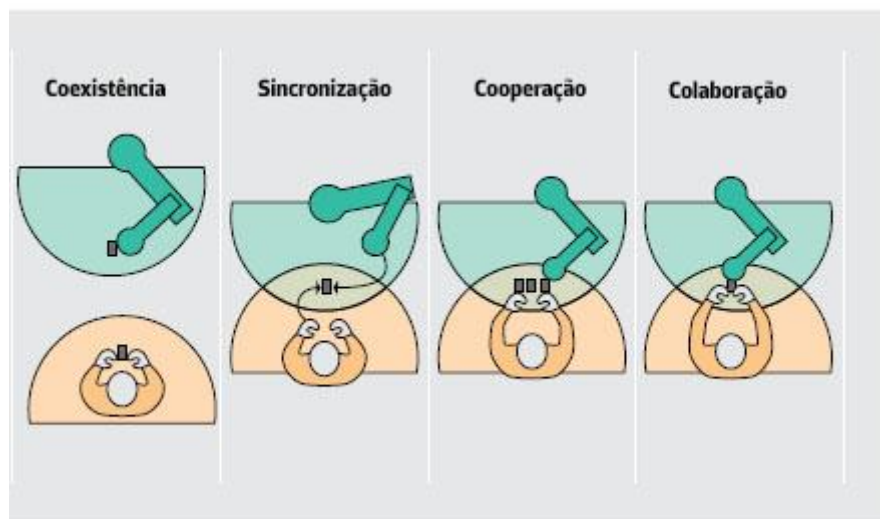


Figura 3 – Formas de interação humano-robô. Adaptado de: Bauer et al. (2016)

À semelhança do que acontece com a I4.0, a I5.0 é uma nova revolução que prevê que os humanos sejam fortemente inseridos em cadeias de automatização, fazendo com que estes trabalhem cada vez mais próximos dos robôs (Proia, Carli, Cavone, & Dotoli, 2021).

A interação humano-robô, torna-se mais fácil e segura com o aparecimento dos robôs colaborativos (também designados como *cobots*). Os *cobots* foram introduzidos primeiramente como dispositivos inteligentes de assistência, utilizados como o próprio nome indica, para assistência ao humano, através da aplicação de energia ou de força (Hentout, Aouache, Maoudj, & Akli, 2019).

De acordo com a ISO 10218-2, os *cobots* são robôs projetados para a colaboração direta com o humano, devendo a sua interação ser segura. O espaço de trabalho colaborativo é aquele que é partilhado pelo humano e o robô durante a realização das suas tarefas (ISO 10218-2:2011).

A cobótica é considerada a ciência e o conjunto de técnicas de *design*, construção, estudo e avaliação de um sistema cobótico. Este último conceito refere-se à estação de trabalho composta por um robô e um humano (Hentout et al., 2019). A cobótica é uma área de grande expansão em várias indústrias.

Relativamente aos *cobots*, uma das principais vantagens da sua utilização é permitir que, com a interação humano-robô, as tarefas de trabalho sejam partilhadas. Assim, as tarefas que exigem força, precisão e repetição são da responsabilidade do robô, enquanto que as tarefas que requerem adaptação e tomada de decisão (tarefas com valor agregado), são da responsabilidade dos humanos (Bejarano, Ferrer, Mohammed, & Martinez Lastra, 2019; Menges, Sarrey, & Henaff, 2018). O funcionamento adequado dos *cobots*, permite às empresas a melhoria da qualidade e eficiência dos processos de trabalho, proporcionando uma série de vantagens como a melhoria da produtividade e da qualidade dos serviços, bem como a redução do impacto dos fatores de produção nocivos sobre os seres humanos (Galin & Meshcheryakov, 2019).

A utilização dos *cobots* nas indústrias, para além de aumentar a produtividade das mesmas, reduz as lesões musculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho, sendo esta uma das doenças com maior foco nos países industrializados. Neste contexto, os *cobots* contribuem para o crescimento económico das empresas e para a criação de ambientes de trabalho mais saudáveis e atraentes para os trabalhadores. Estima-se que o mercado *cobot* cresce, em média, aproximadamente 50% a cada ano (Ajoudani et al., 2020).

1.3.1. Ergonomia e Segurança no Trabalho na interação humano-robô

A aplicação de robôs nas empresas e a sua interação com o humano pode apresentar vantagens a nível ergonómico, quando desenvolvidas de forma correta. Esta interação permite otimizar o desempenho global do sistema de produção, minimizando o tempo por unidade de trabalho produzido, o esforço e a energia dispendida pelos trabalhadores, o número de perdas e maximizando a qualidade, a segurança e o conforto (Romano & Dutra, 2002).

De acordo com alguns autores, os robôs tem sido amplamente utilizados para auxiliar humanos, dado que estes prestam apoio em algumas tarefas, nomeadamente (Bauer et al., 2016; B. Simões, De Amicis, Barandiaran, & Posada, 2019):

- Suporte em tarefas que são exigentes para os trabalhadores e que requerem a alta precisão ou a sua repetição contínua;
- Suporte a trabalhadores sobrecarregados em processos de produção que funcionam a altas velocidades;
- Suporte para a resolução de possíveis falhas temporárias ou permanentes, que podem limitar o desempenho dos trabalhadores, como é o caso de acidentes ou incidentes;
- Apoio na realização de tarefas monótonas e com posturas estáticas ou inadequadas, melhorando a ergonomia dos trabalhadores.

A segurança e a saúde ocupacional dos trabalhadores, assim como o seu bem estar e a sua satisfação, são aspetos fundamentais a ter em consideração para as empresas. Com a I4.0 e respetiva introdução de novas tecnologias nas empresas, nomeadamente nas suas interações com os robôs, estas devem considerar o humano como o elemento principal e melhorar as suas condições de trabalho, desenvolvendo sistemas de produção centrados no homem (Gualtieri, Palomba, Merati, Rauch, & Vidoni, 2020). A ergonomia relacionada com o trabalho desempenha um papel fundamental neste contexto. Esta abordagem de desenvolvimento de sistemas de *design* centrados nos humanos (*Human-centred design*) tem como objetivo melhorar o bem estar dos trabalhadores e a sua satisfação, minimizando os potenciais efeitos colaterais para a saúde humana, segurança e desempenho devido à utilização e interação com as tecnologias (Matt, Modrák, & Zsifkovits, 2020).

Para o desenvolvimento de sistemas de *design* centrados nos humanos, deve-se efetuar um estudo que deve incluir a definição e a análise das características do produto em causa, o ciclo de produção, os sistemas robóticos, as características/*layout* do espaço de trabalho, as características psicofísicas do trabalhador e os efeitos das relações com os colegas de trabalho. Idealmente, deve-se também incluir os requisitos de segurança, ergonomia e eficiência de produção (Gualtieri, Rauch, Vidoni, & Matt, 2020), como representado na Figura 4.

A necessidade de desenvolver sistemas flexíveis centrados no ser humano implica a implementação de sistemas ajustáveis e a otimização em tempo real de todos os elementos da célula de trabalho, de acordo com as características psicofísicas do trabalhador. Os sistemas robóticos são exemplo dos sistemas que podem ser ajustados, dado que são indispensáveis e devem ser adequados ergonomicamente às atividades de trabalho e às necessidades do trabalhador (Gualtieri, Rauch, et al., 2020).

A ISO 9241-210:2019 fornece diretrizes sobre como desenvolver esta abordagem de sistemas de *design* centrado nos humanos (ISO 9241-210:2019).

Um dos aspetos cruciais para o correto desenvolvimento e aplicação dos sistemas de *design* centrado nos humanos é o cumprimento de determinados princípios ergonómicos (Matt et al., 2020).

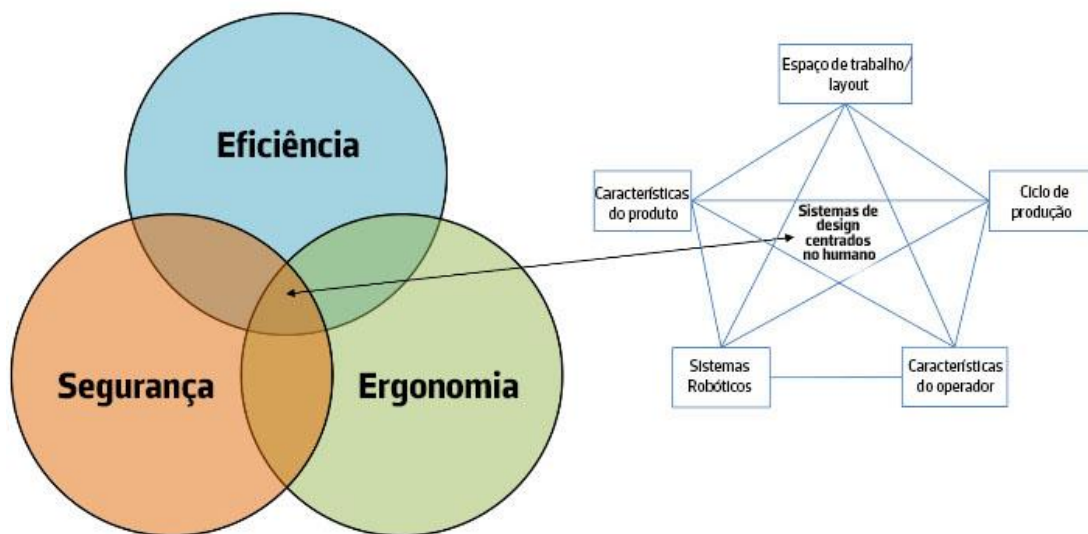


Figura 4 – Considerações para os sistemas de *design* centrados nos humanos. Adaptado de: Gualteri, Rauch, et al. (2020)

De acordo com a *International Ergonomics Association* (IEA), a palavra ergonomia, considerada como a “ciência do trabalho”, deriva do grego *ergon* (trabalho) e *nomos* (leis) (IEA, n.d.).

A ISO 26800:2011 define a ergonomia como a “disciplina científica que se preocupa com a compreensão das interações entre humanos e outros elementos de um sistema, e a profissão que aplica a teoria, princípios, dados e métodos de projeto com vista a otimizar o bem estar humano e a performance de um sistema global”. Esta disciplina estuda como o *design* do espaço de trabalho e os equipamentos relacionados com o mesmo, devem estar projetados, de forma a que estes sejam otimizados para o uso humano (ISO 26800:2011).

A IEA refere que os termos ergonomia e fatores humanos são muitas vezes aplicados indistintamente ou como uma unidade (IEA, n.d.). O estudo dos fatores humanos e da ergonomia constitui uma prática em várias indústrias, especialmente em áreas críticas de segurança de aviação, transportes, área militar e energética. Adicionalmente, podem também ser aplicados rotineiramente em ambientes de escritório e serviços (Holden, Abebe, Russ-Jara, & Chui, 2021).

O estudo da ergonomia e dos fatores humanos deve ter em consideração fatores físicos, cognitivos, sociotécnicos, organizacionais, ambientais e outros fatores relevantes, bem como as complexas interações entre o ser humano e outros humanos, o meio ambiente, ferramentas, produtos, equipamentos e tecnologia. Neste contexto, verifica-se que a ergonomia pode ser classificada como

uma interação de fatores físicos, cognitivos e organizacionais (IEA, n.d.), tal como se pode constatar na Figura 5.

Os fatores físicos envolvem o estudo das atividades físicas humanas, e como tal, das características humanas relacionadas com a anatomia, antropometria, fisiologia e biomecânica. A ergonomia física inclui a análise de posturas de trabalho, do manuseio de materiais/ferramentas de trabalho, da repetição de movimentos, das lesões musculó-esqueléticas decorrentes do exercício laboral, do *layout*, da segurança e da saúde dos locais de trabalho. Outros elementos do sistema de trabalho devem ser considerados, como a iluminação do local de trabalho, o ruído, as vibrações, os perigos e o clima. Toda a informação que advém deste estudo é útil e utilizada para o *design*/conceção dos locais de trabalho, de produtos industriais e de produtos para o consumidor (Holden et al., 2021; IEA, n.d.; Matt et al., 2020).

As Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho (LMERT), representam um dos maiores problemas de saúde, principalmente em países desenvolvidos. Este tipo de lesão é responsável pela maioria das doenças ocupacionais e afeta quase 50% dos trabalhadores industriais (Maurice, Padois, Measson, & Bidaud, 2017).

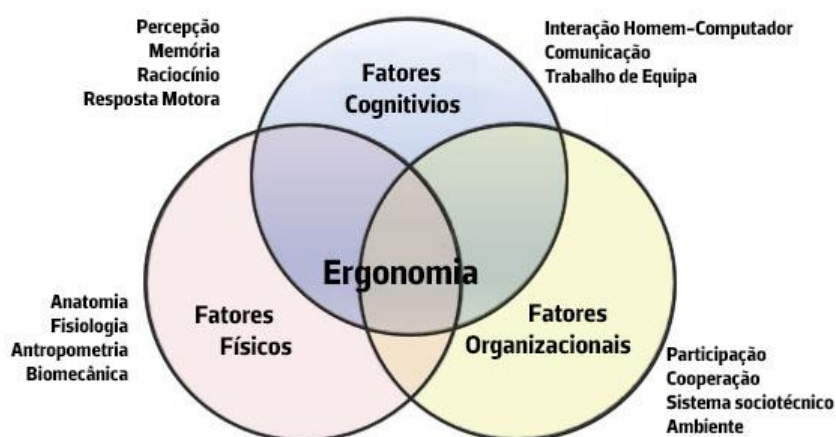


Figura 5 – Fatores relevantes para a ergonomia. Adaptado de: IEA, nd

O possível risco de desenvolvimento de LMERT pode ser minimizado, através da análise de posturas e dos movimentos de trabalho. Os métodos de análise física ergonómica permitem rastrear os movimentos humanos e a força aplicada na execução de cada tarefa. Um dos métodos tradicionais para o estudo dos movimentos humanos inclui a análise de uma sequência de imagens estáticas, recriando o movimento. Para isso, são utilizados dispositivos eletrónicos que medem parâmetros físicos de movimento, como a taxa de rotação e aceleração, utilizando acelerómetros e giroscópios, respetivamente. Através da realização de entrevistas e a aplicação do questionário Nórdico, pode-se também obter informações pessoais relevantes dos trabalhadores, entre elas, quais as regiões de

corpo mais afetadas decorrentes da realização do trabalho. Complementarmente, existem várias metodologias para a avaliação de risco, dependendo das partes do corpo a estudar, nomeadamente (Benos, Bechar, & Bochtis, 2020):

- *Composite Ergonomics Risk Assessment*(CERA)
- *Ergonomic Assessment WorkSheet*(EAWS)
- *Job Strain Index*(JSI)
- *Manual handling Assessment Chart*(MAC)
- *OCcupational Repetitive Actions*(OCRA)
- *Ovako Working posture Analysis System*(OWAS)
- *Rapid Entire Body Assessment*(REBA)
- *Rapid Upper Limb Assessment*(RULA)

Os fatores cognitivos estão relacionados com o estudo das interações mentais entre humanos e qualquer elemento presente no sistema. Neste contexto, são analisadas várias habilidades cognitivas e processos mentais como a resposta motora, o raciocínio, a percepção e a memória, bem como a interação homem-computador, a comunicação e o trabalho de equipa. A ergonomia cognitiva deve ser tida em consideração principalmente na projeção de sistemas automatizados, de alta tecnologia ou sistemas complexos. O *stress* no trabalho, a carga mental de trabalho, a fiabilidade humana, a tomada de decisão, o desempenho qualificado são os principais indicadores analisados neste campo. Todos estes aspetos são fundamentais a ter em consideração na conceção de sistemas colaborativos, uma vez que a falta desta informação pode resultar numa diminuição na qualidade de produção, bem como na ocorrência de acidentes (IEA, n.d.; Matt et al., 2020). Assim, a ergonomia cognitiva assume grande relevância, uma vez que derivado a este fator, a sinergia entre o humano e o robô torna-se superior quando comparada exclusivamente só à do humano ou só à dos sistemas robóticos (Benos et al., 2020).

Os fatores organizacionais têm em consideração a otimização de sistemas sociotécnicos, tendo em vista a maximização da eficiência das suas estruturas, políticas e processos. Inclui a análise de fatores como a participação, a cooperação, o sistema sociotécnico e o ambiente. A ergonomia organizacional tem como objetivo produzir um sistema de trabalho totalmente harmonizado, capaz de garantir a satisfação do trabalhador, bem como o seu comprometimento perante a empresa. Os indicadores relacionados com este campo estão ao nível do trabalho em equipa, do *design* participativo, da ergonomia comunitária, do trabalho cooperativo, dos novos paradigmas de trabalho, das organizações virtuais, teletrabalho e gestão da qualidade, comunicação, gestão de recursos humanos, *design* do trabalho e *design* dos horários de trabalho (IEA, n.d.; Matt et al., 2020). Algumas das intervenções típicas deste tipo de ergonomia são a apresentação e a garantia da segurança como elemento essencial da cultura organizacional, a melhoria dos processos e dos fluxos de valor, bem como a

incorporação ativa dos trabalhadores no reconhecimento e na resolução de desafios ergonômicos (Benos et al., 2020).

A segurança no trabalho é a ciência que se dedica à proteção e salvaguarda dos trabalhadores contra possíveis lesões e acidentes, garantindo assim a sua integridade física durante as atividades de trabalho, reduzindo o risco a um nível tão baixo quanto o razoavelmente praticável (Matt et al., 2020). Segundo a Lei n.º 102/2009 de 10 de setembro (alterada pela Lei n.º 3/2014 de 28 de janeiro), um perigo é definido como “a propriedade intrínseca de uma instalação, atividade, equipamento, um agente ou outro componente material do trabalho com potencial para provocar dano”, por sua vez, o risco pode ser definido como “a probabilidade de concretização do dano em função das condições de utilização, exposição ou interação do componente material do trabalho que apresente perigo”.

Nos sistemas colaborativos, existe um espaço de trabalho colaborativo que resulta da presença combinada do humano e do robô. Ao contrário do que acontece nos robôs convencionais, que o seu uso requer a utilização de barreiras físicas, no caso dos robôs colaborativos é permitido o contacto físico direto entre o humano e o robô (Benos et al., 2020). Assim, no espaço de trabalho partilhado é possível que exista uma potencial interação física não funcional, entre o humano e as partes móveis do robô, como por exemplo os braços. Estes contactos inesperados e indesejados podem provocar diferentes tipos de colisões e esmagamentos, se os riscos mecânicos não forem previamente identificados e monitorizados. Um risco mecânico pode ocorrer quando os trabalhadores contactam direta ou indiretamente com objetos relacionados com o processo de trabalho. Existem alguns exemplos de riscos mecânicos e lesões (consequências) que podem ocorrer na interação humano-robô, nomeadamente (Benos et al., 2020; Matt et al., 2020):

- Entalamento e esmagamento dos dedos entre as partes móveis do robô;
- Hematomas, cortes e perfurações devido ao uso de máquinas/ferramentas, peças, equipamentos ou objetos e resíduos de produção;
- Fratura óssea ou entorses devido ao contacto entre uma superfície rígida e uma carga pesada;
- Acidentes diversos.

Para que a interação humano-robô seja segura é necessário que os robôs sejam desenvolvidos e projetados de forma a que não provoquem acidentes (mortes, lesões e danos materiais). Desta forma, os tipos de robôs que interagem com os humanos nas suas tarefas, devem ser categorizados e diferenciados com base na sua funcionalidade, liberdade e espaço de trabalho (Zacharaki et al., 2020). A segurança dos humanos deve ser a prioridade mais alta a estabelecer nesta interação, para isso, os robôs são desenvolvidos com base nas normas e diretrizes de segurança. De acordo com Arents et al., (2021), nesta interação deve-se ter em consideração uma ou mais condições de segurança (Figura 6), conforme aplicável (Arents et al., 2021):

- Paragem monitorizada de segurança: o humano e o robô podem realizar tarefas em espaços distintos e o robô pode operar sem restrições, desde que o humano não entre no seu espaço de trabalho. Caso isso aconteça, o movimento do robô é interrompido, através do uso de sensores e *software* e só pode retomar as suas funções apenas quando o humano sair da área de trabalho do robô;
- Orientação manual: O humano controla o robô, através de um dispositivo de orientação manual, fazendo com que este se movimente a uma velocidade segura. Caso o humano deixe de utilizar o dispositivo, o robô ativa o modo de paragem monitorizada de segurança e apenas prossegue as suas tarefas quando o trabalhador sair do espaço de trabalho;
- Monitorização da velocidade e da separação: neste caso, o humano e o robô executam tarefas no mesmo espaço, no entanto, a velocidade do robô é ajustada de acordo com a distância entre o humano e o robô. É definida uma distância consoante o tipo de tarefa a realizar, e caso se aproximem da mesma o robô interrompe as suas tarefas;
- Limitação da força e da potência: os robôs integram sensores de força e potência, que permitem que o contacto físico entre os humanos e o robô seja mais seguro. As forças que o robô pode aplicar ao humano por meio de um contacto intencional ou não intencional, devem estar abaixo dos valores limite, determinados na fase de avaliação de riscos.



Figura 6 – Condições de segurança na interação humano-robô. Adaptado de: Bi et al. (2021)

De acordo com a ISO 10218-1:2011, existem 4 modos *standard* que devem ser tidos em consideração na robótica colaborativa, nomeadamente (ISO 10218-1:2011):

- Modo 1: o robô deve parar quando o humano estiver no mesmo espaço de trabalho;

- Modo 2: o robô movimenta-se a baixa velocidade quando o humano ocupa o mesmo espaço de trabalho;
- Modo 3: a velocidade e os movimentos do robô são controlados de acordo com os movimentos do humano, no mesmo espaço de trabalho;
- Modo 4: os contactos físicos entre o robô e o humano podem existir, desde que seja garantida a segurança para o humano e a limitação da força exercida pelo robô.

Para além das diretrizes anteriormente referenciadas, existem outras (Figura 7) que descrevem os requisitos de segurança de máquinas que devem ser tidos em consideração para a interação humano-robô, de forma a desenvolver espaços de trabalho colaborativos seguros para o humano.

A segurança é então um elemento importante e que deve ser garantida na interação humano-robô. A segurança de um robô geralmente é assegurada pela integração de dispositivos de segurança, como monitores de força, elementos para conformidade passiva, bem como proteções de sobrecarga. Um monitor de força mede a força da interação de um robô e interrompe-a quando esta é superior ao limite de segurança. A conformidade passiva é um sistema mecânico que absorve a energia do impacto quando a força conjunta ultrapassa o limite definido.

As proteções de sobrecarga geralmente estão relacionadas com a deteção de excesso de trabalho, que faz com que o robô inverta a direção do movimento para evitar a interferência com os objetos detetados. Assim, na interação humano-robô, para que a segurança seja garantida, deve-se ter em consideração uma das seguintes situações (Bi et al., 2021):

- Segurança por separação: o robô deve parar o seu funcionamento quando o humano estiver fora da distância considerada segura no espaço de trabalho. Ou então, o robô é separado do humano pelos operadores. Nesta situação, o humano não tem a permissão de ocupar o espaço de trabalho robótico e nenhum tipo de interação é permitido;
- Segurança por supervisão: o humano desempenha um papel ativo para monitorizar, supervisionar ou controlar o robô, sendo que este pode contactar com o robô mas com precaução;
- Colaboração inofensiva: o humano e o robô realizam ações em simultâneo no mesmo espaço compartilhado, sem riscos de segurança para o humano e para o robô.

Nos sistemas colaborativos e mediante a realização de avaliações de risco no âmbito das interações entre os humanos e os robôs, existem vários tipos de prevenções que devem ser asseguradas, nomeadamente (Kofer, Bergner, Deuerlein, Schmidt-Vollus, & Heß, 2020):

- Prevenção de colisões e sistemas de travagem perigosos;
- Prevenção do contacto direto entre o robô e o humano, mediante o cumprimento das distâncias de segurança;
- Prevenção de colisões críticas através da regulação dos limites de velocidade do robô;

- Prevenção de lesões mediante a parametrização do recurso de paragem monitorizada de segurança (descrita anteriormente);
- Prevenção de lesões e contactos por meio de sinais de alerta.

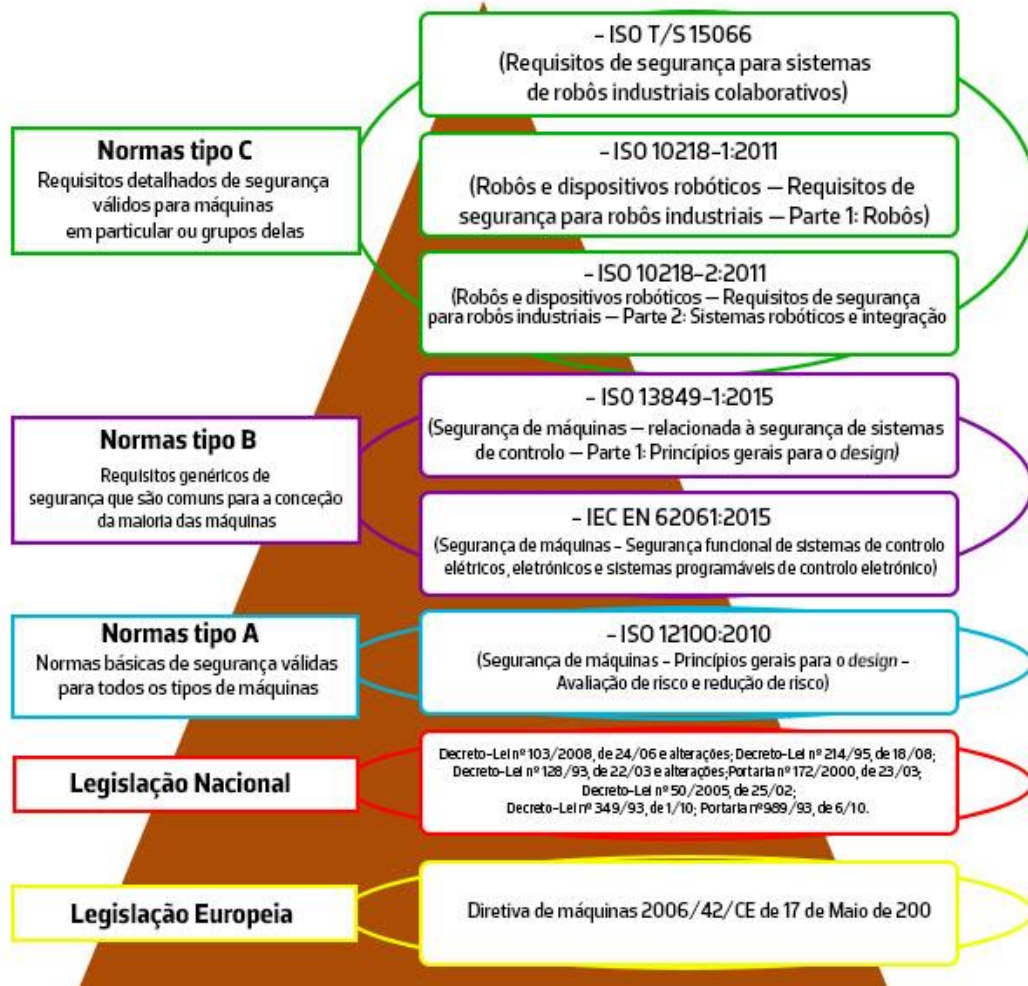


Figura 7 - Enquadramento Legal. Adaptado de: Matt et al. (2020)

Em suma, existem algumas estratégias de segurança que devem ser tidas em consideração na interação humano- robô, entre as quais as de deteção de colisão, as técnicas de planeamento de movimento reativo (de forma a evitar os contactos físicos entre robôs e humanos), bem como as de controlo de conformidades (para limitar as forças de impacto ou para detetar contactos físicos e reagir em conformidade) (Kim, Peternel, Lorenzini, Babič, & Ajoudani, 2021).

Importa referir que para além dos riscos provenientes dos contactos indesejados (seja com elementos do robô ou obstáculos existentes no espaço de trabalho compartilhado), existem também possíveis

erros do que o trabalhador pode cometer devido à existência de vários botões para diferentes operações, que podem levar à ocorrência de consequências graves para os humanos (Benos et al., 2020). Assim, salienta-se que a segurança nos sistemas colaborativos deve ser assegurada em todas as suas fases, como a de projeto (nomeadamente no *design* dos sistemas colaborativos), a de construção, a de desenvolvimento e de implementação (Zacharaki et al., 2020).

A implementação de sistemas robóticos nas indústrias para além de apresentar diversas vantagens para os trabalhadores (já anteriormente descritas), apresentam também algumas desvantagens. Exemplo disso é o elevado nível de pressão de desempenho, uma vez que, em muitas situações os trabalhadores têm de manter a mesma velocidade e o mesmo nível de trabalho de um robô. Esta situação pode produzir um impacto negativo na sua segurança e saúde, principalmente no que diz respeito à saúde mental. Outro exemplo associado ao facto de estarem cada vez mais a trabalhar ao lado de robôs é a diminuição do contacto com os humanos e o seu apoio social. Os riscos psicossociais e organizacionais também apresentam grande destaque, como é o caso do aumento do *stress* relacionado com o trabalho e dos problemas de saúde mental, que podem ser consequências do aumento da pressão do desempenho e da complexidade do trabalho, de horários de trabalho irregulares e da menor interação social e apoio no trabalho. (European Agency for Safety and Health at Work, 2020).

As questões do trabalho, do emprego e da qualificação ligadas à automatização e à robotização também têm vindo a ser, até ao passado recente, predominantemente abordadas em contexto de instrumentos estratégicos de âmbito setorial ou mais global, tendo em conta os desafios colocados pelo envelhecimento da população, pelo desenvolvimento industrial e tecnológico, pela polarização do mercado de trabalho, pela escassez de mão de obra qualificada para o digital e pela necessidade de qualificação (sobretudo formal e ao longo da vida) (FCT, 2019).

Para garantir a segurança do humano na sua interação com o robô é importante que, para além dos requisitos de segurança anteriormente abordados, exista uma adaptação dos sistemas robóticos às necessidades e competências dos trabalhadores. Como tal, pode existir a necessidade de um processamento da linguagem como uma forma de traduzir os requisitos não formais de segurança em descrições mais formais, permitindo assim o processamento automatizado de informações numa linguagem mais natural (Dede, Mitropoulou, Nikolaidou, Kamalakis, & Michalakelis, 2021).

1.4. Formação e Competências em Ambientes de Trabalho Digitais

A automatização do mundo do trabalho revela algumas lacunas nos atuais mecanismos de gestão e regulamentação no domínio da Segurança e Saúde no Trabalho. Neste âmbito, a Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho descreve algumas estratégias no âmbito da Segurança e Saúde no

Trabalho (SST) que podem ajudar a mitigar os principais desafios provenientes da automatização das empresas, nomeadamente (European Agency for Safety and Health at Work, 2020):

- o desenvolvimento de um quadro de referência ético para a automatização, os códigos de conduta e a correta governação;
- uma forte abordagem de “prevenção através da conceção”, que integre fatores humanos e uma conceção centrada no trabalhador;
- a participação dos trabalhadores na conceção e na implementação de todas as estratégias de automatização;
- um quadro regulamentar para clarificar as responsabilidades em matéria de SST em relação aos novos sistemas e às novas formas de trabalho;
- a dotação provisional de serviços de SST efetivos para todos os trabalhadores integrados no mundo do trabalho digital;
- a colaboração entre o meio académico, a indústria, os parceiros sociais e os governos em matéria de investigação e inovação no domínio das tecnologias digitais, a fim de ter devidamente em conta os aspetos humanos;
- um sistema educativo e formação adaptados para os trabalhadores.

Alguns países europeus estão a incluir a robótica nos seus programas nacionais, com o objetivo de promover uma cooperação segura e flexível entre os humanos e os robôs. Exemplo disso é o Instituto Federal Alemão da Saúde e Segurança no Trabalho que organiza *workshops* anuais sobre o tema “colaboração humano-robô”, mostrando assim a importância na formação e sensibilização dos operadores para esta temática (European Agency for Safety and Health at Work, 2015).

Em Portugal, de acordo com a Lei n.º 3/2014 de 28 de janeiro, *o empregador deve assegurar ao trabalhador condições de segurança e saúde em todos os aspetos do seu trabalho, constituindo uma das obrigações gerais do empregador, a adaptação ao estado de evolução da técnica, bem como a novas formas de organização do trabalho* (art.º 15.º, Lei n.º 3/2014). Segundo o artigo 5º da presente Lei, a educação, a formação e a informação para a promoção da melhoria da segurança e saúde no trabalho é uma das medidas de prevenção dos riscos profissionais que o empregador deve ter em consideração.

Neste contexto e de acordo com a Lei n.º 7/2009 de 12 de fevereiro (e respetivas alterações) (Código do Trabalho), o trabalhador tem o direito a um mínimo de 40 horas de formação anual para o contrato de trabalho por tempo indeterminado, em vez das 35 horas anteriormente previstas (art.º 131.º/ponto 2 do Código de Trabalho) (Lei n.º 93/2019). Ainda segundo o Código de Trabalho, as formações podem ser desenvolvidas pelo empregador, por entidade formadora certificada para o efeito ou por estabelecimento de ensino reconhecido pelo ministério competente e dá lugar à emissão de certificado e a registo na Caderneta Individual de Competências nos termos do regime jurídico do Sistema Nacional

de Qualificações. O empregador deve assegurar, em cada ano, formação contínua a pelo menos 10 % dos trabalhadores da empresa.

A formação contínua é uma das tipologias de formação profissional previstas no Sistema Nacional de Qualificações (SNQ), e é caracterizada pela “formação que se realiza após a saída do sistema de ensino ou após o ingresso no mercado de trabalho, visando aprofundar competências profissionais e relacionais, tendo em vista o exercício de uma ou mais atividades profissionais, uma melhor adaptação às mudanças tecnológicas e organizacionais e o reforço da empregabilidade”. No entanto, para além desta, existem outras tipologias de formação, nomeadamente (DGERT, 2021):

- Formação inicial – formação que visa a aquisição de saberes, competências e capacidades indispensáveis para iniciar o exercício qualificado de uma ou mais atividades profissionais;
- Formação de dupla certificação – formação inicial ou contínua integrada no Catálogo Nacional de Qualificações (CNQ), realizada por entidade formadora certificada ou por estabelecimento de ensino ou formação reconhecido pelos ministérios competentes e que atribui uma certificação escolar e uma certificação profissional.

Neste âmbito, as empresas com um maior nível de automatização e digitalização podem, mediante o número de horas de formação disponível para cada trabalhador, ministrar mais conteúdos associados à digitalização e à interação humano-robô, focando não só a importância para a produtividade e competitividade da empresa, mas principalmente para os benefícios para os trabalhadores. A formação ajudará também a aumentar a aceitação dos trabalhadores para o trabalho em ambientes digitais e colaborativos e promover a prática de trabalho seguro.

O Estado também apresenta um papel preponderante na educação, formação e informação para a segurança e para a saúde no trabalho. De acordo com o artigo 9º, da Lei n.º 10/2009 de 10 de setembro (e respetivas alterações), o Estado deve promover a integração de conteúdos sobre a segurança e a saúde no trabalho nas ações de educação e formação profissional de forma a permitir a aquisição de conhecimentos e hábitos de prevenção de acidentes de trabalho e doenças profissionais; e promover ações de formação e informação destinadas a empregadores e trabalhadores, bem como ações de informação e esclarecimento públicos nas matérias da segurança e da saúde no trabalho.

Atualmente as empresas Europeias enfrentam uma enorme dificuldade em contratar trabalhadores qualificados, que sejam capazes de dar resposta à transição digital. De acordo com dados da Comissão Europeia (2021), 90% dos empregos em todos os setores de atividade, exigem determinados níveis de competências digitais e cerca de 42% dos cidadãos europeus ainda não possuem competências digitais básicas. A mão de obra como agricultores, trabalhadores bancários e operadores de unidades fabris, não dispõem de competências digitais suficientes, apesar da atividade de trabalho assim o exigir (European Commission, 2021b).

Desde 2014, a Comissão Europeia faz referência à progressão digital dos Estados Membros, por meio dos relatórios do Índice de Digitalidade da Economia e da Sociedade Digital (*Digital Economy and Society Index – DESI*). Todos os anos, o DESI inclui a análise dos perfis dos países que apoiam os Estados Membros na identificação de áreas que requerem ações prioritárias, essenciais para fundamentar as decisões políticas.

A Figura 8, mostra o *ranking* DESI de 2021 dos Estados Membros. Tal como se pode verificar na Figura 8, a Dinamarca, Finlândia, Suécia e Holanda têm as economias digitais mais avançadas da União Europeia (UE). Por sua vez, a Roménia, Bulgária e Grécia têm as pontuações mais baixas do DESI (European Commission, 2021a). Portugal encontra-se em 17º lugar, dos 28 países pertencentes à UE.

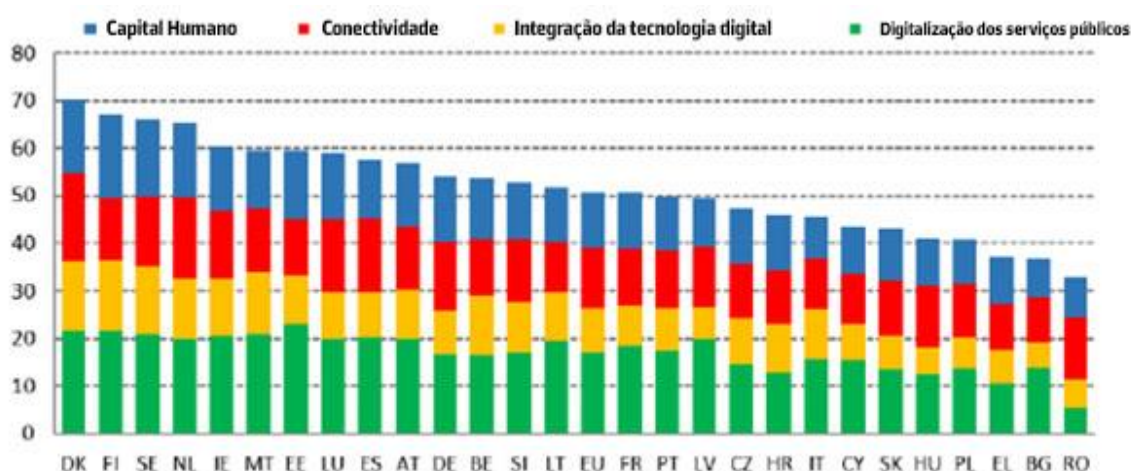


Figura 8 – *Ranking* DESI de 2021 dos Estados Membros. Adaptado de: European Commission (2021a)

Segundo dados do DESI (2021), desde 2015 que o nível de competências digitais continuou a crescer lentamente, atingindo 56% dos indivíduos com competências digitais básicas, 31% com competências digitais acima do básico e 58% com competências digitais avançadas. Estes indicadores são fortemente influenciados por aspetos sociodemográficos. Sobre este facto, sabe-se que entre os indivíduos com habilidades digitais básicas, 80% são jovens adultos dos 16 aos 24 anos, 84% são indivíduos com alta educação e 87% são alunos. Por outro lado, apenas 33% dos indivíduos são pessoas dos 55 aos 74 anos e 28% correspondem aos aposentados e inativos. Existe também uma lacuna entre as áreas rurais e urbanas, dado que apenas 48% dos indivíduos que vivem nas áreas rurais possuem competências digitais básicas, ao contrário dos que vivem nas cidades (62%) (European Commission, 2021a).

Para fazer face a esta nova era digital, a 9 de março de 2021, a Comissão Europeia apresentou uma visão e percursos para a transformação digital da Europa até 2030. A Comissão propõe Orientações para a Digitalização relativas à década digital da UE, que se centram em torno de quatro aspetos

fundamentais: competências, infraestruturas digitais seguras e sustentáveis, transformação digital das empresas e digitalização dos serviços públicos (European Commission, n.d.).

A Figura 9 indica as metas para cada item mencionado anteriormente.

Competências	Infraestruturas digitais seguras e sustentáveis	Transformação digital das empresas	Digitalização dos serviços públicos
• Especialistas em TIC: 20 milhões + Convergência de género • Competências digitais básicas: no mín. 80 % da população	• Conectividade: Gigabit para todos, 5G em toda a parte • Semicondutores de ponta: duplicação da quota da UE na produção mundial • Dados — periferia e nuvem: 10 000 nós periféricos de alta segurança com impacto neutro no clima • Informática: primeiro computador com aceleração quântica	• Adoção das tecnologias: 75 % das empresas da UE utilizam computação em nuvem/IA/grandes volumes de dados • Inovadores: crescimento das empresas em fase de expansão e financiamento para duplicar os «unicórnios» da UE • Utilizadores tardios: mais de 90 % das PME atingem, pelo menos, um nível básico de intensidade digital	• Serviços públicos essenciais: 100 % em linha • Saúde em linha: 100 % dos cidadãos têm acesso ao seu processo clínico • Identidade digital: 80 % dos cidadãos utilizam a identificação digital

Figura 9 – Metas para a transformação digital da Europa até 2030.

Analisando a Figura 9 percebe-se que além da meta de competências digitais básicas (80% das pessoas), espera-se que até 2030 se consiga atingir uma meta de 20 milhões de especialistas em Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) com emprego na UE, com convergência entre mulheres e homens. Face ao exposto é importante modernizar os sistemas de educação e formação que atualmente não preparam suficientemente os jovens para a economia e para a sociedade digital, para que estes possam adaptar um conjunto de competências ao longo da sua vida. Tal facto é importante porque as competências não são apenas relativas ao trabalho, existem quatro grandes grupos de competências que devem ser trabalhadas, nomeadamente (European Commission, 2022b):

- Competências digitais para todos: desenvolver competências digitais para permitir que todos os cidadãos sejam ativos na sociedade digital;
- Competências digitais para a força de trabalho: desenvolver competências digitais para a economia digital, por exemplo a qualificação e requalificação de trabalhadores e candidatos a emprego, ações de aconselhamento e orientação de carreira;
- Competências digitais para profissionais de TIC: desenvolver competências digitais de alto nível para profissionais de TIC em todos os setores da indústria;
- Competências digitais na educação: transformar o ensino e a aprendizagem de competências digitais numa perspetiva de aprendizagem ao longo da vida, incluindo a formação de professores.

Importa destacar que atualmente, na literatura, o conceito de competências digitais não implica apenas que o trabalhador tenha competências técnicas para a execução do seu trabalho, mas também uma ampla gama de competências, conhecimentos, habilidades e atitudes. O sucesso dos trabalhadores nos seus locais de trabalho não depende apenas dos seus conhecimentos técnicos no âmbito da alfabetização digital, mas também da sua capacidade para se adaptarem às tecnologias em rápida mudança, ao pensamento crítico e à rápida resolução de problemas (Kispeter, 2018). Na nova era digital, as competências digitais estão sempre em constante mudança, pelo que as políticas das organizações devem ser dinâmicas, reavaliando sempre as competências em falta para formar os trabalhadores, de forma a garantir que estes têm as competências necessárias para o sucesso. Esta abordagem por parte dos empregadores permite que estes construam e moldem a força de trabalho interna em resposta às rápidas mudanças nas necessidades do mercado e dos negócios. No setor educacional, uma abordagem dinâmica consiste na reavaliação constante do conteúdo programático de modo a garantir que os alunos tenham um conjunto específico de competências essenciais para conseguir um emprego (Julia Nania, Bonella, Restuccia, & Taska, 2019).

1.4.1. Perfil de Competências dos Trabalhadores no Setor Industrial

Num mundo globalizado e com alta interconexão de processos, as empresas enfrentam um número crescente de desafios, especialmente em termos de competências e habilidades dos trabalhadores para os processos de automatização e digitalização (Fadhila, Aitouche, & Aksa, 2020; Raj et al., 2020). De acordo com ISO 9001: 2015, o termo “competência” refere-se à capacidade demonstrada para aplicar conhecimento e habilidade. Por sua vez, a Comissão Europeia (2009) define “competência” como a capacidade comprovada de utilizar o conhecimento, as aptidões e as capacidades pessoais, sociais e/ou metodológicas, em situações profissionais ou em contextos de estudo e para efeitos de desenvolvimento profissional e/ou pessoal.

As “competências” desenvolvem o potencial humano, na medida em que são extremamente necessárias para a realização de tarefas, permitindo o alcance das metas e o cumprimento das estratégias da organização. Assim, as competências incluem o conhecimento, as habilidades (*soft skills* e habilidades técnicas) e as atitudes refletidas em ações (Grzelczak, Kosacka, & Werner-Lewandowska, 2017).

Existem quatro tipos de competências humanas que devem ser consideradas, nomeadamente a competência profissional (conhecimento de processos de produção e conhecimento sistémico da empresa), a competência associada à informação tecnológica (principalmente na análise de dados, segurança e proteção), bem como a competência social (cooperação e habilidades de comunicação) e pessoal (aprendizagem, habilidades, pensamento interdisciplinar e resolução de problemas). A

combinação de todas estas competências são a chave para o sucesso da I4.0 (Kravcik, Wang, Ullrich, & Igel, 2018).

Num estudo sobre a implementação do conceito de I4.0 numa empresa na Polónia, recorreu-se à utilização de questionários, para identificar quais as competências que os trabalhadores julgariam que deviam ter. Neste caso, os representantes da empresa consideravam que a falta de competências poderia ser um dos principais desafios para a implementação da I4.0 e, de acordo com os trabalhadores, referiram que tanto a capacidade de “resolução de problemas” (69,84%), como a “responsabilidade pessoal pela tomada de decisão” (65,08%) seriam as principais competências que deveriam possuir (Grzelczak et al., 2017).

De acordo com Kravcik et al. (2018), a insuficiente qualificação dos trabalhadores é também considerada um dos maiores problemas associados à I4.0.

Neste sentido, é fundamental distinguir os conceitos:

- Qualificação – resultado formal de um processo de avaliação e validação, obtido quando um órgão competente decide que uma pessoa alcançou resultados de aprendizagem de acordo com determinadas exigências;
- Conhecimentos – resultado da assimilação de informação através da aprendizagem. Os conhecimentos constituem o acervo de factos, princípios, teorias e práticas relacionado com uma área de trabalho ou de estudo;
- Aptidões – capacidade de aplicar conhecimentos e utilizar recursos adquiridos para concluir tarefas e solucionar problemas. As aptidões podem ser descritas como cognitivas (incluindo a utilização de pensamento lógico, intuitivo e criativo) e práticas (implicando destreza manual e o recurso a métodos, materiais, ferramentas e instrumentos) (Comissão Europeia, 2009).

Para além dos conceitos anteriormente descritos, a Comissão Europeia desenvolveu um manual, o DIGCOMP (*Digital Competence*), que aborda a temática da competência digital na Europa e descreve o conceito de “habilidade” como o modo de aplicar o conhecimento e utilizar o *know-how* para concluir tarefas e solucionar problemas. No âmbito do Quadro Europeu de Qualificações são definidas como cognitivas (incluindo a utilização de pensamento lógico, intuitivo e criativo) e práticas (implicando destreza manual e o recurso a métodos, materiais, ferramentas e instrumentos) (Ferrari, 2013).

O desenvolvimento de uma indústria automatizada não se baseia apenas na compra de tecnologias novas e sofisticadas, mas também na criação de uma atmosfera que incentive os trabalhadores a procurar continuamente novas soluções para realizarem o seu trabalho e manter os seus conhecimentos atualizados. A organização laboral tem sofrido alterações devido às tecnologias associadas à I4.0. O *Smart Working* ou paradigma Operador 4.0 está relacionado com uma ampla gama de suporte técnico necessário ao trabalhador em ambiente fabril (Enrique, Druczkoski, Lima, &

Charrua-Santos, 2021). As indústrias devem apoiar os trabalhadores e desenvolver ofertas formativas com o objetivo de qualificar os trabalhadores e capacitá-los para as mudanças no mercado de trabalho. As formações a trabalhadores efetivos são cada vez mais importantes, dado que na maioria das vezes não se trata de um público jovem e, como tal, precisam de adquirir novos conhecimentos que lhes permitam utilizar e interagir melhor com as tecnologias emergentes em contextos cada vez mais complexos (Brunetti et al., 2020; Johansson et al., 2017). Diferentes institutos de investigação e associações industriais (como é o caso do Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência (INESC TEC) – um dos maiores centros de investigação em Portugal e do COTEC – maior associação industrial em Portugal) têm trabalhado em conjunto para produzir e oferecer uma série de *webinars* e plataformas de *e-learning* que sejam capazes de explorar as informações do setor industrial de forma mais eficaz. Da mesma forma, plataformas de *e-learning* como Coursera ou a *National Programme on Technology Enhanced Learning* (NPTEL) estão a criar e a fornecer cursos avançados para pessoas interessadas em desenvolver novas competências e conhecimentos em áreas específicas, utilizando a abordagem da autoaprendizagem. Diversas empresas e respetivos trabalhadores têm demonstrado interesse crescente por este tipo de serviços de aprendizagem (Azevedo & Almeida, 2021).

Dentro das tecnologias emergentes abordadas anteriormente, as tecnologias baseadas na IA, bem como as ferramentas de realidade virtual e aumentada, são amplamente utilizadas com o intuito de orientar o trabalhador a realizar tarefas mais especializadas, exigindo conhecimento e formação específica (European Commission, 2021d). Para além desta tecnologia, o potencial da tecnologia robótica, mais concretamente, a utilização de Robôs Colaborativos, está cada vez mais em constante evolução e, como tal, as interações físicas e cognitivas são as interações mais estudadas entre o homem e a máquina (Enrique et al., 2021). Para que esta colaboração ocorra, os trabalhadores precisam de ser formados e qualificados para substituir as suas tarefas de produção manual para funções de supervisão e monitorização (Cohen, Shoval, & Faccio, 2019).

Para criar um ambiente de trabalho colaborativo não basta cumprir os requisitos de segurança relacionados com o uso dos robôs, mas também definir e criar um canal de informações ou *feedback* entre os robôs e os humanos. Este canal de informação entre os robôs e os trabalhadores é essencial para que seja garantida a segurança nesta operação. No entanto, esta via de informação ainda se encontra limitada (Enrique et al., 2021; Liu & Wang, 2017). Para além dos trabalhadores, os técnicos especialistas na manutenção de *cobots* também devem ter formação e ser qualificados para o efeito. A falta de informação e de formação dos trabalhadores sobre a utilização de robôs e a criação de ambientes colaborativos torna-se assim uma possível limitação para as empresas que pretendem utilizar os *cobots*.

Exemplo disso é o estudo desenvolvido por Oberc et al. (2019) que refere que, apesar das empresas estarem cada vez mais interessadas na colaboração humano-robôs, as suas aplicações em ambientes de produção são raras, uma vez que, se por um lado esta colaboração apresenta inúmeras vantagens para a empresa, por outro não existem conhecimentos e informações sobre como utilizar esta dinâmica. Desta forma, os autores desenvolveram um estudo que se baseia na criação de um conceito de formação, uma *learning factory*, orientada em aspetos organizacionais e pessoais, em vez de aspetos técnicos. Esta formação teve como público alvo os alunos de uma universidade. A formação desenvolvida pretendeu sensibilizar os alunos para aspetos relacionados com a colaboração humano-robô, análise de estações de trabalho, princípios de gestão, resolução de problemas e realização de análises de verificação rápida para determinar os potenciais da colaboração (Oberc, Prinz, Glogowski, Lemmerz, & Kuhlenkötter, 2019). A Figura 10 resume os diferentes ciclos da formação.

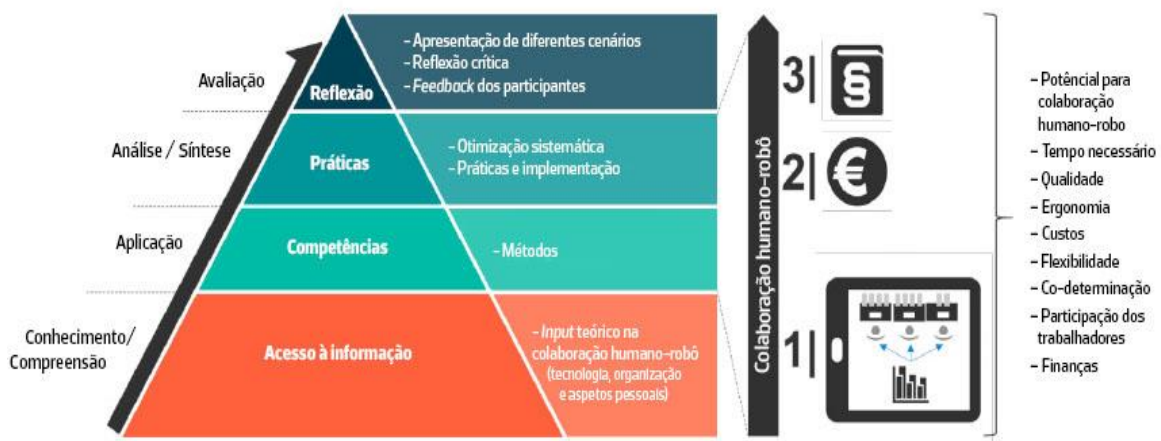


Figura 10 – Ciclos de formação. Adaptado de: Oberc et al. (2019)

A formação iniciou com a abordagem teórica sobre a colaboração entre humanos e robôs, integrando alguns tópicos como a tecnologia, a organização e aspetos pessoais. Este conhecimento torna-se importante para o tópico seguinte, na medida em que é fundamental verificar a possibilidade de aplicação deste tipo de colaboração na empresa, mediante a integração de competências e práticas. A decisão de integração desta abordagem (interação humano-robô) depende também do fator custo e das leis organizacionais. No final da formação existiu uma reflexão e avaliação da aplicabilidade deste tipo de colaboração nas empresas, mediante a apresentação de diferentes cenários, terminando com uma reflexão crítica e um *feedback* dos participantes. Para avaliar a aquisição dos conhecimentos finais de cada participante, foi entregue um questionário antes e depois da formação e efetuou-se a análise das diferenças. Foram ainda efetuadas entrevistas aos participantes no final da formação para indicação da taxa de sucesso (Oberc et al., 2019). Em contrapartida, autores Rotatori et al., (2021) referem que, devido aos recursos necessários para a criação das *learning factory*, torna-se

fundamental a formação dos trabalhadores no local de trabalho (*on the job*) dentro das configurações organizacionais em que se encontram.

Outros autores indicam também que as necessidades de formação e o desenvolvimento de competências necessárias por parte dos trabalhadores para a programação e a sua interação com robôs, são alguns dos desafios das indústrias na utilização dos *cobots* (Calitz, Poisat, & Cullen, 2017).

Um estudo desenvolvido por Lambrechts et al. (2021), refere que atualmente trabalhar com *cobots* ainda é algo inovador para muitas pessoas e, portanto, é algo que sai fora da zona de conforto. No entanto, a confiança no sistema de colaboração entre o humano e o robô é um fator humano essencial que influencia o sucesso da sua implementação. Os autores indicam que a confiança e a falta de competências e conhecimentos são os dois maiores problemas a enfrentar na temática da robotização, em particular na colaboração com *cobots*. Se por um lado os níveis de confiança dos trabalhadores, relativos ao uso dos *cobots*, podem aumentar com o passar do tempo e através da melhoria dos níveis de produtividade, por outro lado, a necessidade de competências e conhecimento é uma grande lacuna que pode pôr em causa o alcance dos resultados (Lambrechts, Klaver, Koudijzer, & Semeijn, 2021).

Em Portugal foi desenvolvida a Agenda Temática de Investigação e Inovação com o objetivo de delinear perspetivas de Investigação e Inovação a médio e longo prazo (até 2030), com base numa reflexão estratégica alargada a nível do sistema científico, tecnológico e de inovação. Uma das visões desta Agenda no âmbito do Trabalho, Robotização e Qualificação para o Emprego é que Portugal deverá antecipar as necessidades em matéria de qualificação que permitam criação do capital humano adequado a situações de transição e a sua deslocação dos setores/segmentos mais tradicionais/suscetíveis de substituição pela máquina. Refere ainda que um dos desafios na vertente da inovação é o desenvolvimento de formação profissional no sentido de transmitir os conhecimentos básicos necessários para trabalhar e acrescentar valor num quadro operacional caracterizado por crescente robotização e utilização de Inteligência Artificial (FCT, 2019).

Conforme referido anteriormente, com o passar do tempo, os requisitos para as qualificações e competências dos trabalhadores serão mais exigentes do que ao esperado atualmente (Hecklau et al., 2016). Assim, o sistema educacional será alterado de Educação 3.0 para Educação 4.0 que combina o mundo real e o virtual (Harkins, 2008). Cada vez mais o conhecimento, a qualificação e a formação pessoal são uma parte essencial a considerar na I4.0 (Institute of Technology Assessment, 2015). A constante necessidade de criar e adaptar novos métodos de trabalho e processos produtivos por parte das indústrias, requerem a aproximação deste setor ao ensino superior, de modo a garantir que os futuros profissionais respondem às atuais exigências digitais da I4.0 e, consequentemente, I5.0 (European Commission, 2022a).

O crescimento da I4.0 e o aparecimento de novas tecnologias digitais fez com que as universidades ponderassem possíveis mudanças na formação acadêmica dos jovens, principalmente nas áreas de engenharia, focando aspectos mais técnicos da I4.0. A adaptação do ensino superior, constitui assim uma das partes importantes nas tarefas de preparação para a I4.0 (Fadhila et al., 2020), dado que é esperado que os estudantes no futuro trabalhem com um mundo cada vez mais globalizado, automatizado, virtualizado e conectado em rede, competindo por empregos no mercado global. A aquisição de novas competências e habilidades relacionadas com as novas tecnologias vão permitir a criação de novos empregos, com vista a suprimir as necessidades provenientes do crescimento das empresas existentes e com a introdução de novos produtos e serviços (Horváth & Szabó, 2019; Motyl et al., 2017)

Desta forma, no âmbito da I4.0, o ensino superior deve proporcionar aos estudantes das áreas de engenharia, o desenvolvimento de várias competências científicas e técnicas, sociais e digitais, entre as quais se destacam (Motyl et al., 2017):

- Competências científicas e técnicas: conhecimentos numéricos e matemáticos, capacidade de resolução de problemas, criatividade, conhecimentos em técnicas de *design* e de investigação, capacidade de processamento de informação, conhecimentos de programação de computadores, forte conhecimento de padrões industriais, conforto para trabalhar com computadores (uma vez que é dispensado muito tempo a projetar, simular e testar produtos e processos);
- Competências sociais: capacidade de comunicação, pensamento analítico, trabalho em equipa e espírito de liderança;
- Competências digitais: estão englobados todos os conhecimentos digitais, desde os mais básicos que incluem a utilização de ferramentas e *software*, até aos mais específicos para os profissionais das áreas de informação tecnológica, como a programação informática. Todos estes conhecimentos são necessários para o uso de aplicativos digitais.

A *Turkish German University* é um exemplo de uma universidade que tem como objetivo formar engenheiros excepcionais que contribuam para o crescimento do futuro da automatização. Com este objetivo, implementaram um plano que assenta em três pilares principais: (1) mudanças/melhorias a serem conduzidas nas áreas de desenvolvimento curricular, (2) conceitos laboratoriais e (3) atividades pertencentes ao clube do estudante. O primeiro pilar tem em vista a implementação do conceito de I4.0 no currículo de diversos departamentos de engenharia e nas áreas de ciências, o que apresenta vantagens para as diferentes áreas de especialização e auxíla na aplicação e melhoria do conceito I4.0. O segundo pilar está relacionado com um laboratório (Lego-Lab) onde os alunos utilizam legos para a criação de desenhos industriais, de forma a compreenderem a aplicação do conceito de I4.0 através da simulação de linhas de produção reais. O último pilar consiste na existência de um clube estudantil onde os estudantes trabalham diferentes aspectos da I4.0. Este clube deve servir como intermediário para

vários estudantes e projetos de pesquisa, organização de conferências e eventos para apresentar e disseminar a visão da I4.0 (Coşkun, Kayıkcı, & Gençay, 2019).

Em Portugal também se prevê uma contínua atualização dos conteúdos programáticos do sistema de ensino, tal como é referido no artigo 9º da Lei n.º 10/2009 de 10 de setembro, o Estado deve prosseguir a integração de conteúdos sobre a segurança e a saúde no trabalho nos currículos escolares dos vários níveis de ensino, tendo em vista uma cultura de prevenção no quadro geral do sistema educativo e a prevenção dos riscos profissionais como preparação para a vida ativa.

1.4.2. Learning Factory

A colaboração das indústrias com as universidades permitiu a criação das chamadas “fábricas de aprendizagem” ou *learning factory* que serão conectadas às instalações de produção de Sistemas Ciber-Físicos. Através da utilização da *internet* das coisas, da *internet* de serviços e da *internet* das pessoas, existirá uma conexão: máquina-máquina, homem-máquina ou homem-homem, surgindo ao mesmo tempo uma enorme quantidade de dados. Por este motivo, será necessária uma análise de grandes volumes de dados (*Big Data*) para poder prever possíveis falhas e adaptar-se em tempo real às condições alteradas. As competências e qualificações das equipas de trabalho de uma empresa, serão, por isso, a chave para o sucesso da mesma. Deste modo, estas devem focar-se no desenvolvimento de mão de obra qualificada e a gestão de recursos humanos não deve estar orientada apenas na seleção, contratação e demissão de trabalhadores, mas também no desenvolvimento de outros recursos nomeadamente na educação, aprendizagem e formação dos trabalhadores (Benešová & Tupa, 2017).

A aquisição de competências vai para além dos conceitos teóricos transmitidos na universidade, devendo incluir também a capacidade de aplicar conhecimentos para resolver problemas práticos, uma vez que só quando esta conexão é garantida, é que abordamos o conceito de competência. As *learning factories* têm o objetivo de proporcionar aos estudantes um currículo de engenharia baseado na prática, conforme exemplificado na Figura 11, potenciando um equilíbrio entre o conhecimento teórico, com a experiência prática associada à indústria (Maheso, Mpofu, & Ramatsetse, 2019). Estas estão principalmente presentes em universidades e contribuem significativamente para aumentar o conhecimento e compreensão de conteúdos associados à I4.0, através da criação de um ambiente realista no qual a universidade, a indústria e outras entidades podem colaborar e validar o uso de novas tecnologias. O conceito das *learning factories* tem sido utilizado em todo o mundo e prova ser uma abordagem prática, orientada para a ação, onde os participantes aprendem procedimentos de fábrica inovadores e respetivos desafios, em ambientes de aprendizagem de produção tecnológica (Cónego, Pinto, & Gonçalves, 2021).

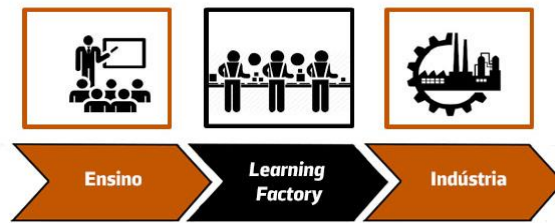


Figura 11 – Exemplo de um *layout* de uma *Learning factory*. Adaptado de: Maheso et al. (2019)

A *Ruhr-University Bochum* é um exemplo de uma universidade que desenvolveu uma *learning factory* para enfrentar os desafios da I4.0. Este conceito de fábrica de aprendizagem ou *learning factory* concentra-se exclusivamente nas técnicas e/ou processos de implementação organizacional e tem como objetivo fazer com que os trabalhadores reconheçam as suas possibilidades de exercer influência durante o *design* de tecnologias, o seu desenvolvimento e a sua implementação. Com este conceito pretende-se aumentar a capacitação dos trabalhadores para participarem nas mudanças organizacionais, focando os interesses dos mesmos nessas mudanças. Acredita-se que os trabalhadores qualificados e com conhecimentos práticos sobre os locais e processos de trabalho – como futuros utilizadores de novos dispositivos e sistemas técnicos – são muito importantes para um projeto bem sucedido e para os processos de operação relativos à I4.0. Esta abordagem baseia-se no pressuposto que os trabalhadores e o seu nível de aceitação de inovações tecnológicas, bem como a sua vontade de partilhar os seus conhecimentos práticos para otimizar as mudanças futuras, são elementos chave para uma implementação bem sucedida. Nas organizações aderentes a este conceito de *learning factory* espera-se que os trabalhadores fiquem qualificados e sejam capazes de observar as oportunidades que os sistemas de produção automatizados podem oferecer, como por exemplo, melhorias a nível ergonómico, dispensa de atividades laborais simples e repetitivas, bem como a otimização do processo produtivo. No entanto, os trabalhadores ficam também conscientes dos impactos negativos, como perdas de emprego, tendências de desqualificação, a crescente “exclusão digital” ou o controlo de comportamentos e desempenhos. Neste contexto, a *learning factory* utiliza sistemas de assistência digital como tecnologia de aprendizagem para os trabalhadores, fazendo com que estes se tornem “facilitadores” de mudanças tecnológicas e que iniciem e implementem processos de inovação de forma proativa, colaborando com os interesses de todos (Reuter et al., 2017).

A *International Association of Learning Factories* define *learning factory* como “um ambiente de aprendizagem em que os processos e tecnologias têm por base uma indústria real, permitindo uma abordagem direta ao processo de criação do produto. As *learning factories* são baseadas num conceito didático, com ênfase na aprendizagem experimental e baseada em problemas. A filosofia de melhoria contínua é facilitada por ações próprias e envolvimento interativo dos participantes” (International Association of Learning Factories, 2021).

2. Métodos

2.1. Protocolo

Para o presente estudo foi realizada uma revisão sistemática da literatura com o objetivo de identificar, avaliar e interpretar informações disponíveis de diversos estudos científicos relacionados com a temática em estudo. A pesquisa bibliográfica realizada teve por base a metodologia de revisão sistemática *Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses* (PRISMA).

Para responder ao objetivo proposto, foram definidas e seguidas as seguintes etapas:

1. Definição dos objetivos de pesquisa: que tem por base os objetivos apresentados para a dissertação;
2. Definição das palavras-chave: é através destas que se selecionam os artigos com interesse para a pesquisa bibliográfica;
3. Seleção das bases de dados a serem utilizadas: as bases de dados foram selecionadas tendo em conta as áreas temáticas que abordam, na sua qualidade e referenciação;
4. Definição dos critérios de elegibilidade: através destes critérios foram restringidos os artigos a serem incluídos na revisão sistemática da literatura;
5. Gestão de dados resultantes: foi realizada uma gestão de dados como auxílio à sua apresentação e à garantia de qualidade dos mesmos.

2.2. Fontes de Informação

Para a procura de fontes de informação foram utilizadas as bases de dados *Web of Science* e *Scopus*. A *Web of Science* é uma base de dados de publicações independentes e de citações globais mais confiáveis do mundo. A sua biblioteca de dados fornece as melhores publicações em áreas multidisciplinares, com acesso e avaliação confiável.

A *Scopus* é uma base de dados que foi projetada para atender às necessidades de informação dos pesquisadores, educadores, administradores, estudantes e bibliotecários de toda a comunidade académica. Esta base de dados fornece resumos e citações para literatura revista pelos pares, desde revistas científicas, livros ou artigos de conferência, nas áreas de ciência, tecnologia, medicina, ciências sociais, artes e humanidades.

2.3. Estratégias de Pesquisa

Para a pesquisa foram utilizadas as palavras-chave e respetivos sinónimos, presentes na Tabela 1. De forma a obter uma maior quantidade de artigos científicos e estudos que fossem ao encontro da temática em análise, foram utilizados os termos booleanos *AND* e *OR*.

Tabela 1 – Palavras-chave e sinónimos utilizados na pesquisa bibliográfica.

Palavras-Chave	Sinónimos
Interaction	Collaboration*; cooperation*; coexistent*; Synchronized*
Human	Operator
Machine	Equipment; Technolog*; Automation*; *obot*
Industry	Manufactur*; Factor*; Production*
Task	Activit*; Work*; Assignment*; Job*
Skill	up-skilling; re-skilling; Training*; Education*; *Learning*; Qualification*; Competence*; Learning Factories
Digital	Automation*; Transition*; Transformation*; technolog*; ecosystems Industry 4.0; Industry 5.0; I4.0; I5.0; Society 5.0; Smart Factory

Na *Web of Science*, a pesquisa foi realizada ao nível do tópico, tendo sido utilizada a seguinte expressão: *(interact* OR collab* OR cooperat* OR coexistent*OR synchronized*) AND (human OR operator) AND (machine OR equipment* OR technolog* OR automation* OR *obot*) AND (indust* OR manufactur* OR factor* OR Producti*) AND (task OR activit* OR work* OR assignment* OR job*) AND (*skill* OR up-skilling OR re-skilling OR training* OR education* OR *learning* OR qualification* OR competence* OR learning factor*) AND (digital* OR automation* OR transition* OR transformation* OR technolog* OR ecosystems* OR industry 4.0 OR industry 5.0 OR I4.0 OR I5.0 OR society 5.0 OR smart factor*)*.

Na *Scopus*, a pesquisa foi realizada ao nível do título, resumo e palavras-chave, tendo sido utilizada a seguinte expressão: *(interact OR collab OR cooperat OR coexistent*OR synchronized) AND (human OR operator) AND (machine OR equipment OR technolog OR automation OR obot) AND (indust OR manufactur OR factor OR Producti) AND (task OR activit OR work OR assignment OR job) AND (*skill OR up-skilling OR re-skilling OR training OR education OR learning OR qualification OR competence OR learning factor) AND (digital OR automation OR transition OR transformation OR technolog OR ecosystems OR industry 4.0 OR industry 5.0 OR I4.0 OR I5.0 OR society 5.0 OR smart factor)*.

Para esta revisão, foram considerados apenas artigos científicos, artigos de conferência e capítulos de livros. Apenas os artigos escritos na língua inglesa foram incluídos nos critérios de pesquisa.

2.4. Critérios de Elegibilidade

Com a utilização das expressões de pesquisa, os artigos obtidos foram analisados e, mediante a leitura do título e do resumo, excluíram-se aqueles que se encontravam em duplicado ou os que não se

enquadravam na temática em estudo. Em situações pouco explícitas em que apenas a leitura do título e do resumo não fossem suficientes para obter uma conclusão fiável sobre a relevância do estudo, estes seguiram para a próxima etapa, que se baseou na leitura integral de todo o artigo.

Após a leitura dos artigos, excluíram-se aqueles em que o foco seria apenas a otimização da segurança para os trabalhadores nos processos industriais.

2.5. Gestão de Dados

Após a aplicação das expressões de pesquisa anteriormente descritas, os dados obtidos foram introduzidos numa base de dados, em ficheiro *excel*. Nesta base de dados, foi possível obter, de todos os artigos, as seguintes informações: nome dos autores, título do artigo, ano, título da publicação, volume, edição, número, página de início, página de fim, número de páginas, número de citações, DOI, *link*, resumo, tipo de documento, estado de publicação, tipo de acesso, base de dados, EID.

Os artigos incluídos na revisão sistemática da literatura, foram inseridos novamente num ficheiro *excel* e foram descritas as seguintes informações: palavras-chave, objetivo, classificação do artigo com base no objetivo, amostra, tipo de tarefa/atividade, tipo de tecnologia, classificação do artigo com base nas competências digitais.

Os artigos finais incluídos na presente revisão foram introduzidos no gestor de referências *Mendeley*.

2.6. Estruturação de Resultados

Após a análise dos artigos foi efetuada uma classificação dos mesmos com base no seu objetivo de estudo, dividindo-os por categorias, nomeadamente: (1) Criação de Ambientes de Aprendizagem (envolve a componente prática de simulação e interação com tecnologia ou a determinação de requisitos importantes para a criação destes ambientes), (2) Desenvolvimento de Plataformas de Formação e (3) Desenvolvimento de currículos escolares (formação antes do trabalho).

De seguida, foi efetuada uma análise da instrumentação específica usada nos estudos incluídos.

Tendo por base um estudo realizado por Lloyd & Payne (2022), os artigos com componente experimental foram classificados quanto à complexidade no âmbito das competências digitais: (1) Digitalizar e receber informação, (2) Operar sistemas básicos de menus, (3) Operar sistemas mais complexos de menus, (4) Monitorizar e ajustar menus de controlo simples e (5) Monitorizar e ajustar menus de controlo múltiplos.

3. Resultados e Discussão

Os resultados da revisão sistemática da literatura encontram-se apresentados na Figura 12.

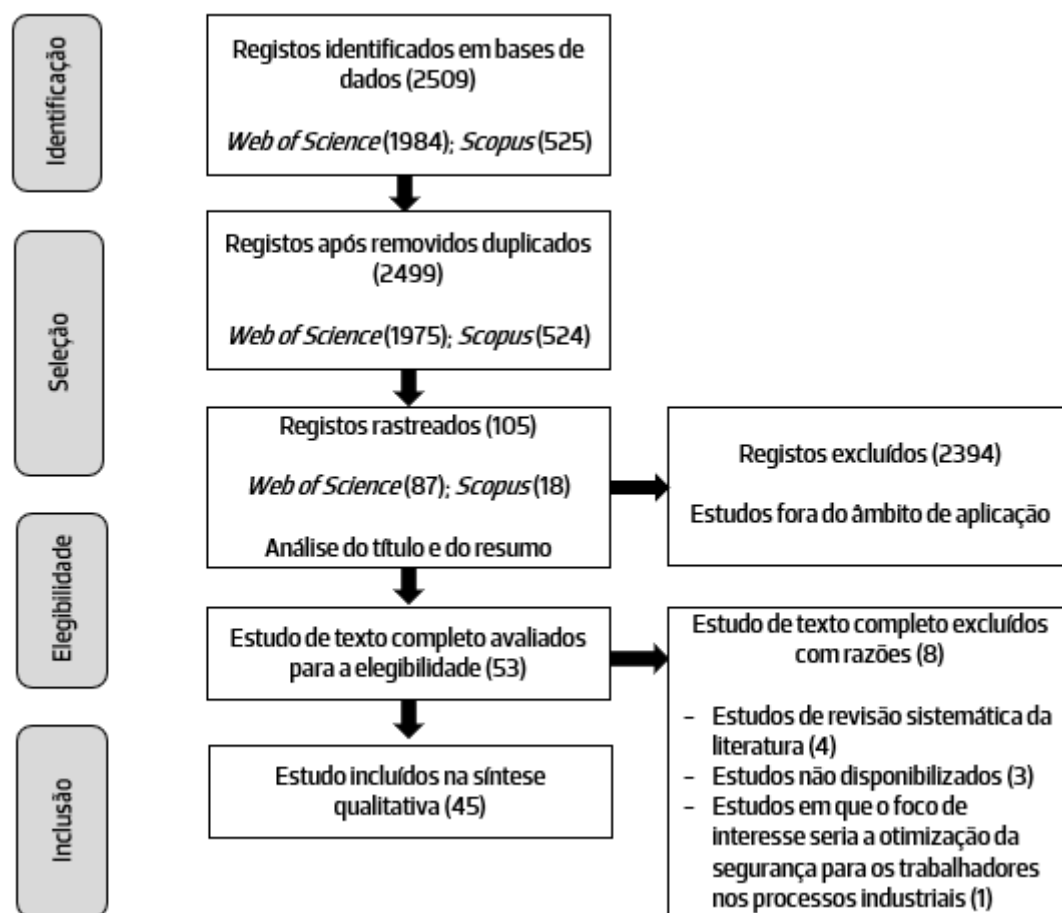


Figura 12 – Diagrama do fluxo PRISMA.

Após a aplicação das expressões de pesquisa descritas no ponto 2.3, resultaram 1984 estudos da base de dados *Web of Science* e 525 estudos da *Scopus*, perfazendo um total de 2509 estudos. Na fase da seleção, após a remoção dos estudos que se encontravam em duplicado, obteve-se um total de 2499 estudos. Da análise do título e do resumo foram excluídos 2394 estudos por se encontrarem fora do âmbito de aplicação, pelo que foram rastreados 105 estudos. Após a leitura integral de todo o artigo, foram excluídos 52 estudos por não se enquadrarem no tema em estudo. Por fim, destes 53 estudos foram aplicados os seguintes critérios de exclusão:

- Estudos de revisão sistemática da literatura (4);
- Estudos não disponíveis (3), apesar de se terem esgotado todas as possibilidades para obtenção dos mesmos, através do contacto com os autores e por meio da biblioteca da ESS, não foi possível a aquisição dos estudos e consequentemente a sua análise;
- Estudos em que o foco de interesse recaiu apenas na otimização da segurança para os trabalhadores nos processos industriais (1).

Após as exclusões descritas foram incluídos na revisão sistemática da literatura 45 artigos.

3.1. Caracterização dos Estudos

3.1.1. Ano de Publicação

Os estudos que integram a presente revisão da literatura foram publicados entre os anos 2003 e 2022. Através da análise da Figura 13, verifica-se um aumento acentuado no número de publicações a partir do ano 2016, sendo que os anos 2020 e 2021 foram os que se verificaram um maior número de artigos publicados e com interesse para a temática em estudo.

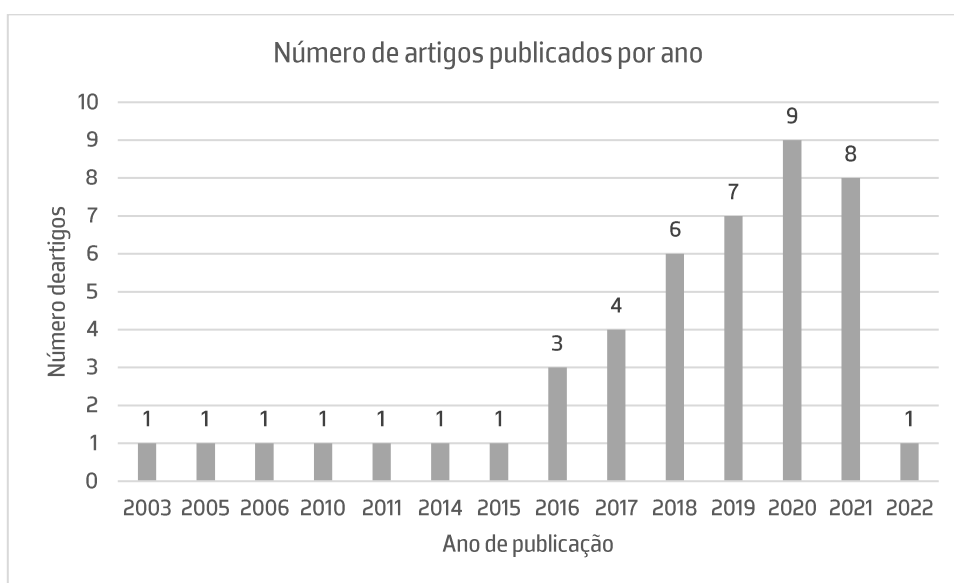


Figura 13 – Número de publicações por ano.

3.1.2. Análise dos Estudos

Após a análise dos estudos foi possível agrupá-los em três categorias tendo em consideração o seu objetivo de estudo, nomeadamente: (1) Criação de Ambientes de Aprendizagem, (2) Desenvolvimento de Plataformas de Formação e (3) Desenvolvimento de currículos escolares. Na Tabela 2 é possível verificar o número de artigos classificado em cada categoria. Conforme a Tabela 2 constata-se que na grande maioria dos artigos (35) o objetivo do estudo baseou-se na criação de ambientes de aprendizagem, que envolveu a criação/descrição da componente prática de simulação e interação com tecnologia ou a determinação de requisitos importantes para a criação destes ambientes. De seguida, 7 artigos centraram-se no desenvolvimento de plataformas de formação (Ansari, Hold, & Khobreh, 2020; Heyse, 2019; Oberc et al., 2019; Daling, Schroder, Haberstroh, & Hees, 2019; Ras, Wild, Stahl, & Baudet, 2017; Prinz et al., 2016; Gorecky, Schmitt, Loskyll, & Zühlke, 2014) e 2 artigos tiveram como objetivo o desenvolvimento de currículos escolares, o que está relacionado com a formação antes do

trabalho (Cantú-Ortiz et al, 2020; Pervez et al, 2018). Um dos artigos os autores integraram tanto a criação de ambientes de aprendizagem como o desenvolvimento de currículos escolares (Spöttl & Windelband, 2021).

Tabela 2 – Categorização dos estudos com base no objetivo.

Classificação com base no objetivo	Número de artigos
Criação de Ambientes de Aprendizagem	35
Desenvolvimento de Plataformas de Formação	7
Desenvolvimento de currículos escolares (formação antes do trabalho)	2
Criação de Ambientes de Aprendizagem + Desenvolvimento de currículos escolares (formação antes do trabalho)	1

De forma a resumir a informação dos artigos que integram a presente revisão da literatura foi criada uma Tabela (3), que reúne os seguintes dados: identificação do estudo, a sua classificação com base no objetivo, identificação da amostra e o tipo de amostra utilizada, o tipo de tarefa/atividade que se insere e o tipo de tecnologia.

Tabela 3 – Análise dos estudos incluídos.

Classificação do artigo com base no objetivo	Referência	Utilização de Amostra	Tipo de Amostra	Tipo de tarefa/atividade	Tipo de tecnologia
Criação de ambientes de aprendizagem	(Moencks, Roth, Bohné, & Kristensson, 2022)	Sim	27 especialistas	Indústria	Sistemas de Assistência Digital
	(Villani et al., 2021)	Não		Indústria	Interação humano-robô
	(Froschauer et al., 2021)	Sim	8 funcionários	Indústria – tarefas de montagem manual	Realidade Aumentada
	(Arslan, Cooper, Khan, Golgeci, & Ali, 2021)	Não		Diversas indústrias e funções organizacionais	Inteligência Artificial e Interação humano-robô
	(Eppes, Milanovic, Jamshidi, & Shetty, 2021)	Não		Setor da Educação	Softwares/Aplicações
	(Carretero, Elorza, Garc, & Nieves, 2021)	Sim	3 especialistas e 2 estagiários	Indústria	Realidade Virtual

	(Süße, Kobert, & Kries, 2021)	Não		Indústria	Inteligência Artificial e Interação humano-robô
	(Weiss, Wortmeier, & Kubicek, 2021)	Não		Indústria	Interação humano-robô
	(Santo et al., 2020)	Sim	45 funcionários	Indústria	Sistemas de Assistência Digital
	(Casillo et al., 2020)	Sim	30 funcionários recém-contratados	Indústria	Sistemas de Assistência Digital
	(Michaelis, Siebert-Evenstone, Shaffer, & Mutlu, 2020)	Sim	9 funcionários	Indústria	Interação humano-robô
	(Yu, Shen, & Lewark, 2011)	Não		Indústria e prestação de serviços	Tecnologia de Informação (TI)
	(Amorim et al., 2020)	Sim	20 representantes da indústria	Empresas de TIC (Tecnologia da Informação, Comunicações e Eletrônica)	Tecnologia de Informação (TI)
	(McGunagle & Zizka, 2020)	Não		Setor da Educação	Tecnologia de Informação (TI)
	(Gazzaneo, Padovano, & Umbrello, 2020)	Não		Indústria	Várias tecnologias
	(Korder, Tropschuh, & Reinhart, 2019)	Não		Indústria	Interação humano-robô
	(Loch, Bock, Zou, & Vogel-Heuser, 2019)	Sim	7 indivíduos de faixa etária mais velha + 7 alunos	Máquina industrial de marcenaria	Realidade Virtual
	(Malik & Bilberg, 2019)	Sim	Amostra não identificada	Indústria – tarefas de montagem manual	Interação humano-robô
	(Lundh-Snis & Hattinger, 2019)	Sim	15 gerentes	Indústria	Tecnologia de Informação (TI)
	(Kolmykova & Merzlyakova, 2019)	Não		Indústria	Interação humano-robô
	(Blankemeyer et al., 2018)	Não		Indústria – tarefas de montagem manual	Interação humano-robô
	(Ansari, Erol, & Sihn, 2018)	Não		<i>TU Wien Pilot Factory Industry 4.0</i>	Interação humano-robô

	(Plumanns, Janssen, & Vossen, 2018)	Sim	<i>Workshop</i> : 8 representantes; Entrevistas: 31 representantes; Questionários: 480 participantes	Indústria Automóvel	Tecnologia de Informação (TI)
	(Galaske, Arndt, Friedrich, Bettenhausen, & Anderl, 2018)	Não		Indústria	Tecnologia de Informação (TI)
	(Blain, Ferworm, Li, Tran, & Carter, 2017)	Sim	6 grupos de alunos	Educação e Arqueologia	Interação humano-robô
	(Longo, Nicoletti, & Padovano, 2017)	Sim	20 funcionários	Indústria – CNC Milling Machine	Interação humano-robô e Realidade Aumentada
	(Johansson et al., 2017)	Não		Indústria	Tecnologia de Informação (TI)
	(Richert et al., 2016)	Sim	Amostra não identificada	Setor da Educação	Interação humano-robô e Realidade Virtual
	(Belov & Govorova, 2016)	Não		Setor da Educação	Tecnologia de Informação (TI)
	(Quint, Sebastian, & Gorecky, 2015)	Não		Indústria – tarefas de montagem manual	Realidade Aumentada
	(Yu et al., 2011)	Sim	8 entrevistas em 4 empresas	Indústria de móveis na China	<i>Advanced Manufacturing Technology</i> (AMT)
	(Vieira, Neto, Scaico, Santoni, & Mercantini, 2010)	Não		Indústria – Setor Elétrico	Realidade Virtual e Interação humano-robô
	(Bayo-Moriones, Billón, & Lera-López, 2006)	Sim	Entrevistas com gerentes de fábrica ou gerentes de operações a 281 indústrias	Indústria	Tecnologia de Informação (TI)
	(Leiponen, 2005)	Não		Indústria	Tecnologia de Informação (TI)
	(Long, Dowsing, & Craven, 2003)	Não		Indústria	Inteligência Artificial
Criação de Ambientes de Aprendizagem + Desenvolvimento	(Spöttl & Windelband, 2021)	Sim	124 funcionários	Indústria	Tecnologia de Informação (TI)

de currículos escolares					
Desenvolvimento de currículos escolares	(Cantú-Ortiz et al., 2020)	Não		Setor da Educação	Programas de Inteligência Artificial
	(Pervez et al., 2018)	Não		Setor da Educação	Uso de Plataformas IoT e Linguagens de Programação Visual no Ensino (uso de Inteligência artificial)
Desenvolvimento de Plataformas de Formação	(Ansari et al., 2020)	Não		Indústria – tarefas de montagem manual	Interação humano-robô
	(Heyse, 2019)	Não		Formação online – ensino e aprendizagem	Realidade Virtual
	(Oberc et al., 2019)	Não		Fábricas de aprendizagem	Interação humano-robô
	(Daling et al., 2019)	Não		Indústria	Interação humano-robô, Realidade Aumentada e Realidade Virtual
	(Ras et al., 2017)	Não		Indústria	Realidade Aumentada
	(Prinz et al., 2016)	Não		Fábricas de aprendizagem	Sistemas de Assistência Digital
	(Gorecky et al., 2014)	Não		Indústria	Sistemas de Assistência Digital

Analisando a Tabela 3 verifica-se que a atividade com maior relevância é a indústria, principalmente no que diz respeito a tarefas de montagem manual. Dentro da indústria, apenas 2 estudos mencionam o setor de interesse, como é o caso do setor elétrico (Vieira, Neto, Scaico, Santoni, & Mercantini, 2010) e automóvel (Plumanns, Janssen, & Vossen, 2018). Outros não mencionaram uma área de estudo específica, apenas referem que o foco foram as indústrias, prestação de serviços, e empresas na área da Tecnologia de Informação e Comunicação. Para além da indústria, o setor da educação também apresenta grande interesse, no âmbito do ensino e da aprendizagem (Eppes, et al., 2021; Cantú-Ortiz et al., 2020; McGunagle & Zizka, 2020; Pervez et al., 2018; Blain et al., 2017; Richert et al., 2016). No que diz respeito ao tipo de tecnologia, a interação humano-robô é aquela que apresenta maior número de estudos (Villani et al., 2021; Arslan et al., 2021; Süße, Kobert, & Kries, 2021; Weiss, Wortmeier, & Kubicek, 2021; Michaelis et al., 2020; Korder, Tropschuh, & Reinhart, 2019; Kolmykova & Merzlyakova, 2019; Blankemeyer et al., 2018; Ansari, Erol, & Sihn, 2018; Blain et al., 2017; Longo, Nicoletti, & Padovano, 2017; Richert et al., 2016; Vieira et al., 2010; Ansari, Hold, & Khobreh, 2020; Oberc et al., 2019; Daling et al., 2019), seguido das tecnologias de informação, sistemas de assistência digital, realidade virtual (RV) e/ou aumentada (RA), inteligência artificial. Dos estudos incluídos, 7 deles fazem referência a várias tecnologias em conjunto (Arslan et al., 2021; Süße, Kobert, & Kries, 2021; Gazzaneo,

Padovano, & Umbrello, 2020; Longo, Nicoletti, & Padovano, 2017; Richert et al., 2016; Vieira et al., 2010; Daling et al., 2019).

3.1.2.1 Criação de ambientes de aprendizagem

Como mencionado anteriormente, 35 estudos previamente identificados, tiveram como objetivo a criação de ambientes de aprendizagem, com a componente prática de interação e simulação com a tecnologia. Dentro destes destacam-se essencialmente estudos (Carretero et al., 2021; Casillo et al., 2020; Froschauer et al., 2021; Loch et al., 2019; Quint et al., 2015; Santo et al., 2020) em que a tecnologia de interesse e de interação com os participantes é a RA e a RV. Estes estudos focaram-se no desenvolvimento de sistemas de aprendizagem baseados na realidade mista, combinando objetos físicos e a visualização digital do seu conteúdo, sendo por isso consideradas tecnologias de assistência utilizadas para apoio dos formandos. Exemplo disso é um estudo desenvolvido por Carretero et al. (2021) que apresenta uma metodologia para desenvolver tutoriais de RV e cursos de formação para preparação profissional de trabalhos industriais, fornecendo ferramentas virtuais para resolver os diversos problemas no âmbito do trabalho. Froschauer et al. (2021) utilizaram uma tecnologia de assistência, com base na RA, para o suporte ao *picking*, através de um sistema de reconhecimento de etapas de montagem, fornecendo meios para que todo o local de trabalho possa ser rastreado, orientando assim o trabalhador na execução das suas tarefas. Como limitação à utilização deste tipo de tecnologias referem alguns fatores, entre os quais: a complexidade das tarefas de montagem, a experiência dos trabalhadores, a configuração das ferramentas e as condições ambientais. A alta variabilidade nos processos e ambientes de produção modernos exige uma grande quantidade de recursos para adaptar e configurar as tecnologias de assistência, de forma a torná-las eficazes e aceites pelos utilizadores. Além disso, estes ambientes são altamente otimizados, o que pode resultar em mais limitações (por exemplo, limitações estruturais e espaciais para a instalação de sensores e *hardware* adicionais). Estes fatores devem ser incluídos num processo contínuo de melhoria baseado em diversas avaliações e testes de usabilidade.

As mudanças tecnológicas implicam uma grande necessidade de formação, sobretudo para trabalhadores mais velhos. Neste sentido, um estudo realizado por Loch et al. (2019), teve como foco o desenvolvimento de um conjunto de adaptações no âmbito da formação por RV, tendo por base as necessidades dos trabalhadores mais velhos. Estas adaptações modificaram a forma de visualização da máquina por parte dos trabalhadores, de forma a facilitar a perceção dos componentes e a fornecer técnicas de interação mais simples. No final da formação, foi efetuada uma comparação entre um sistema de formação adaptado e não adaptado com uma amostra de formandos mais velhos, sendo que a mesma indica benefícios significativos das adaptações desenvolvidas quanto à perceção

subjetiva dos formandos. Este estudo permitiu evidenciar que as formações devem ser adaptadas consoante a idade dos formandos, de forma a facilitar a sua perceção e aquisição de conhecimentos. Outros estudos (Casillo et al., 2020; Santo et al., 2020) focaram-se na criação de *chatbots* para formação dos trabalhadores de uma empresa. O termo *chatbot* é definido como um *software* capaz de simular uma conversa com um ser humano, principalmente através do uso de texto ou voz. A interface de conversação, permite aos utilizadores interagir com serviços, organizações e empresas por meio de uma série de perguntas e respostas articuladas dentro de uma conversa, que pode ser referido com o termo "*chat*". O conceito de *chatbot* é frequentemente associado ao de interface de conversação. Neste sentido, são várias as empresas que apresentaram interesse neste tipo de tecnologia de aprendizagem para criarem um sistema aberto de oportunidades em que todos os trabalhadores tenham acesso a informações, contribuindo para o seu crescimento profissional. Um estudo desenvolvido por Casillo et al. (2020) criou um protótipo de *chatbots* para formação de um grupo de novos trabalhadores de uma empresa. Esta ferramenta pretendeu ser um assistente virtual proativo que simplifica e acompanha o trabalhador durante a fase de aprendizagem de novas tarefas. Após a fase experimental, os resultados foram promissores tanto para o trabalhador como para a empresa. A utilização do protótipo de *chatbot* permitiu que os funcionários aprendessem, de forma mais simplificada e em menos tempo, novas tarefas.

Santo et al. (2020) apresentaram uma metodologia capaz de aproveitar os dispositivos móveis inteligentes e a grande quantidade de dados que eles produzem para construir planos de trabalho personalizados. Para isso utilizaram um sistema para selecionar e recomendar tarefas aos trabalhadores da empresa. O sistema era baseado numa estrutura capaz de projetar e fornecer assistência e formação para as diferentes tarefas a serem executadas e teve ainda como objetivo o planeamento de soluções de acordo com a experiência, competência, velocidade de execução das atividades atribuídas, prestando também apoio e formação técnica em novas tarefas. Os resultados experimentais foram satisfatórios e evidenciaram que o sistema foi capaz de projetar efetivamente os planos de trabalho, contendo também possíveis cursos de formação relacionados. O sistema desenvolvido foi eficiente sob vários pontos de vista. O grau de confiabilidade e a usabilidade do sistema mostraram resultados promissores durante a primeira fase experimental. Além disso, a recomendação do sistema, após a sua utilização pelos participantes também foi elevada.

Um ponto em comum entre os estudos de Casillo et al. (2020) e Santo et al. (2020) foi a limitação dos protótipos/sistemas desenvolvidos, na medida em que nenhum deles teve em consideração trabalhadores que possam ter necessidades particulares ou algum tipo de deficiência física ou cognitiva e que necessitem de formação específica.

A criação de ambientes de aprendizagem tem sido estudada não só em complemento da utilização das tecnologias acima mencionadas, como também no âmbito da interação humano-robô. Um estudo

realizado por Longo, Nicoletti, & Padovano (2017), em que o trabalho de investigação proposto está focado no projeto e desenvolvimento de uma solução prática, chamada *SOPHOS-MS*, capaz de integrar conteúdos de realidade aumentada e sistemas tutores inteligentes com tecnologias de ponta para suporte dos operadores em interações homem-máquina complexas. A estrutura proposta – *SOPHOS-MS* (que implica a utilização de dispositivos móveis e/ou fones e/ou óculos) é um assistente digital pessoal e inteligente com interação vocal, capaz de responder às perguntas sobre tarefas/procedimentos/equipamentos. Este pode ser adequadamente integrado em sistemas de rastreamento corporal, para capturar informações relevantes e fornecer sugestões proativas (para minimizar o risco de acidentes e apoiar a formação). Para isso, o operador acede à aplicação *SOPHOS-MS* onde pode pesquisar e/ou visualizar conteúdos e comunicar, na forma de um discurso direto, com um assistente digital pessoal. Após a exibição do conteúdo, o operador pode interagir livremente com ele, ou seja, aumentar e diminuir o *zoom* das representações em *3D*, ler informações de texto, interagir com a realidade virtual e/ou conteúdos de realidade aumentada. Para avaliar a eficácia da estrutura proposta, foi efetuada uma comparação entre operadores formados tradicionalmente e operadores formados pela *SOPHOS-MS*, ao longo de duas semanas. Os resultados indicaram que os operadores formados pela *SOPHOS-MS* superaram os restantes, adquirindo maiores competências e capacidades para a perceção e ação nos locais de trabalho.

Outros estudos (Blain et al., 2017; Malik & Bilberg, 2019; Michaelis et al., 2020; Richert et al., 2016; Vieira et al., 2010) tiveram como foco a investigação de competências de colaboração e resolução conjunta (entre robôs e humanos) de problemas em mundos virtuais, bem como o estudo do comportamento do operador ao enfrentar situações críticas de segurança na sua interação com a máquina. As competências interpessoais estão a ganhar cada vez mais importância, bem como a capacidade de resolução de problemas em equipas híbridas compostas por humanos e robôs. O ensino e formação de competências em cenários virtuais e humano-robô fortalece a qualificação dos trabalhadores. Estes estudos denotam cada vez mais que a inovação e o desenvolvimento de sistemas ciberfísicos representam um grande desafio, sobretudo na resolução de problemas complexos, sendo para isso fundamental a atualização de conhecimentos, denominada por alfabetização digital (Richert et al., 2016).

Para além dos estudos mencionados anteriormente que têm como objetivo a criação de ambientes de aprendizagem com a componente prática de interação e simulação com a tecnologia, existem outros em que os autores efetuaram o levantamento de determinados requisitos para a criação destes ambientes de aprendizagem. Dentro destes estudos, existe um grupo em que o objetivo comum foi facilitar a interação dos operadores humanos com as máquinas presentes nos locais de trabalho. Neste âmbito, o estudo realizado por Villani et al. (2021), teve como objetivo a definição de uma abordagem

que permite a criação de um ambiente de trabalho inclusivo que possa ser utilizado por operadores vulneráveis e menos qualificados, facilitando assim a interação de operadores humanos com interfaces homem-máquina de sistemas industriais complexos. A abordagem proposta consistiu na adaptação do sistema em três níveis distintos: (1) adaptação da percepção (refere-se à forma como as informações são apresentadas), (2) adaptação da cognição (a capacidade do operador para a compreensão de informações deve ser considerada e é influenciada pelas competências, pelo estado emocional atual e pelo tipo de tarefa na interação, consequentemente, este nível de adaptação refere-se à informação que é apresentada ao operador), e (3) adaptação da interação (dependendo das capacidades sensoriais e físicas do operador, o melhor meio de interação é selecionado para permitir uma interação suave). Para cada nível, foram fornecidas diretrizes gerais. Os autores referem que para uma aplicação prática, as diretrizes precisam de ser customizadas e/ou selecionadas, considerando as características dos operadores e das tarefas.

No estudo realizado por Weiss et al. (2021), os autores identificaram temas práticos que podem enriquecer o conhecimento de *cobots* na I4.0 ao nível do indivíduo, na equipa e nos níveis organizacionais. Os mesmos referem que com a utilização de *cobots* nos locais de trabalho, existe uma necessidade de explorar com mais detalhe quais os fluxos de trabalho que podem ser automatizados de maneira útil, qual profundidade e a complexidade que esta colaboração pode e deve alcançar e como isso afetará, em última análise, as cargas de trabalho (cognitivas) das pessoas, as competências e a formação necessária, bem como as percepções da qualidade do trabalho realizado pelos humanos. Deve-se ainda considerar que o uso de *cobots* e outros sistemas em rede no contexto da Indústria 4.0 pode levar a uma difusão de responsabilidade, através da atribuição de expectativas e papéis associados à utilização de *cobots*.

A colaboração e interação entre humanos e robôs deram origem ao conceito de aprendizagem mútua. Nesta sequência, Ansari, Erol, & Sihn (2018), definem o conceito de aprendizagem mútua como “um processo bidirecional que envolve troca recíproca, dependência, ação ou influência na colaboração humano e máquina, que resulta na criação de um novo significado ou conceito, enriquecendo ou melhorando competências e habilidades em associação com cada grupo de aprendizes”. Os autores abordaram os principais desafios da aprendizagem mútua humano-máquina nas fábricas do futuro, identificando novos padrões de aprendizagem em cenários de trabalho industrial altamente digitalizados, através de cenários exemplares na *TU Wien Pilot Factory Industry 4.0*. Para isso referem ser necessário: (1) Redefinir funções de trabalho – incluindo definição das tarefas específicas e partilhadas), identificação das atividades/tarefas partilhadas entre humano e máquina e definição de medidas para avaliar o cumprimento adequado das tarefas atribuídas; (2) Identificar áreas de aprendizagem, (3) Examinar a transferibilidade de competência entre o humano e a máquina, que pode ter impacto na aprendizagem mútua, e (4) Medir o resultado da aprendizagem mútua, considerando

características específicas de humanos e máquinas em relação a indicadores-chave, como taxa de probabilidade de erro humano/máquina, capacidade de aprendizagem e tempo de operação. Neste seguimento, Arslan et al. (2021), Blankemeyer et al. (2018), Kolmykova & Merzlyakova (2019), Korder et al. (2019) e Moencks et al. (2022) auxiliaram a implementação da colaboração humano-robô na produção de uma empresa, para que esta fosse efetuada de forma mais rápida e com menos risco implícito. Para isso, os autores referem ser necessário efetuar primeiramente uma avaliação do local de trabalho para averiguar o potencial de implementação deste sistema colaborativo e, posteriormente, avaliar as competências dos trabalhadores. Neste caso, para além destas, as competências requeridas para o exercício da função também devem ser avaliadas. Mediante estas avaliações e os seus resultados, a empresa deve conseguir verificar a potencialidade da implementação da colaboração humano-robô. Os autores estudaram ainda as estratégias que a gestão de recursos humanos, líderes e departamentos nas organizações enfrentam devido à interação entre robôs e trabalhadores humanos, especialmente no nível da equipa, de forma a superarem o máximo de desafios possíveis. Destacam como importante a comunicação de metas e os resultados esperados, assim como uma explicação relativamente aos critérios de avaliação de desempenho. Referem ainda que numa equipa mista (humanos e robôs), a identificação das competências específicas para cada elemento deve estar bem definida para que os objetivos sejam cumpridos. Para além da interação humano-robô, existem outras tecnologias inteligentes advindas da transformação digital e que estão inseridas na I4.0. Estas também requerem atenção das empresas, no que diz respeito à qualificação dos seus trabalhadores para que consigam ser otimizadas no processo de produção. Como tal, atualmente são exigidas aos trabalhadores vários tipos de competência de forma a garantir o sucesso nas operações.

Na Tabela 4 encontram-se identificadas as principais competências que os autores consideraram importantes, no âmbito da transformação digital.

Tabela 4 – Principais competências identificadas nos estudos.

Referência	Principais competências
(Galaske et al., 2018)	- <i>Hard Skills</i> (conhecimento de TI, conhecimento do processo de negócios, conhecimento do processo de fábrica) - <i>Soft Skills</i> – Competências sociais (capacidade de iniciativa para a realização de novas tarefas, responsabilização pelos próprios atos, comunicação, capacidade de utilização de meios digitais, novas técnicas de trabalho e métodos de resolução de problemas) - Operacionalidade (capacidade de criação de sistemas de assistência interativos e adaptativos, interação homem-máquina, poder de tomada de decisão)

(Daling et al., 2019)	- Competências pessoais (compreende a capacidade de uma pessoa aprender, desenvolver uma atitude própria e agir de forma reflexiva e autônoma) - Competências sociais ou interpessoais (estão relacionadas ao contexto social de um indivíduo, onde é necessária a capacidade de se comunicar, cooperar e construir conexões sociais com outros indivíduos ou grupos) - Competências relacionadas à ação (permitem que um indivíduo transfira com sucesso os planos para a realidade, colocando em ação ideias individuais ou socialmente construídas) - Competências relacionadas ao Domínio (difere das outras três categorias em termos de dependência do ambiente ou contexto de um indivíduo. Assim, refere-se à capacidade de adquirir e usar o conhecimento do domínio para uma tarefa específica)
(Korder et al., 2019)	- Competências pessoais (lealdade, disciplina) - Competências orientadas para a atividade e implementação (prontidão de execução, resiliência) - Competências técnicas metódicas - Competências socio comunicativas (comunicação, cooperação)
(Lundh-Snis & Hattinger, 2019)	- Conhecimento holístico e contextual dos processos de trabalho - Comunicação e à compreensão do trabalho - Reconhecimento dos processos transformacionais - Integração da comunicação entre operacionais e a gerência
(Amorim et al., 2020)	- Competências técnicas (exemplos: desenvolvimento e montagem de sistemas eletrônicos, desenvolvimento e programação de sistemas, desenvolvimento de algoritmos de aprendizagem automatizados e sistemas de armazenamento <i>big data</i>) - Competências transversais (educação, comunicação, pensamento ético, pensamento crítico e resolução de problemas complexos)
(Ansari et al., 2020)	- Competências profissionais (conhecimento e habilidades) - Competências pessoais (competências sociais – espírito de equipa e liderança, envolvimento e comunicação; autonomia – autodeterminação, interdependência, refletividade, capacidade de aprendizagem)
(Gazzaneo et al., 2020)	- Competências cognitivas - Competências sensoriais - Competências físicas - Competências de interação Neste estudo é realizado um levantamento dos tipos de tecnologias que ajudam a aprimorar cada competência em específico, nomeadamente:

	- Tecnologias que melhoram as capacidades cognitivas do operador: <i>Cloud Computing</i>, simulação (RV e RA), Inteligência Artificial - Tecnologias que aprimoram as capacidades sensoriais do operador: Sensores de Monitorização da Saúde, Monitores de Atividade Pessoal, Sensores de Postura, sensores da no âmbito da <i>IoT</i> - Tecnologias que melhoram as capacidades físicas do operador: Robôs Colaborativos, exoesqueletos, dispositivos de controlo, Sistemas Teleoperados - Tecnologias que aprimoram as capacidades de interação do operado: Interfaces Homem-Máquina, Realidade Aumentada, <i>Personal Intelligent Assistants</i>
(McGunagle & Zizka, 2020)	- Trabalho em equipa - Auto-motivação - Comunicação verbal - Capacidade de recolha de dados - Resolução de problemas - Proatividade - Adaptabilidade
(Spöttl & Windelband, 2021)	- Competências amplas (dominar as tecnologias de <i>BigData</i>, aprender a trabalhar com uma variedade de formatos de dados, entender e dominar processos, aprender a assumir mais responsabilidade, cooperar e comunicar, conhecer as estruturas de rede, etc.) - Competências específicas (resolução de problemas, compreensão de sistemas integrados e suas interconexões, envolvimento em novas tarefas, aplicação da TI como ferramenta, pensamento crítico, conhecimento das tecnologias de informação e produção, atualização de conhecimentos por meio da <i>internet</i>/manuais/ instruções, conhecimento dos <i>softwares</i>, execução de tarefas parametrizadas, tomada de decisões, habilidade para otimizar procedimentos. - Competências abstratas (criatividade, visão e comunicação, inovação, trabalho em equipa, espírito crítico, relação interpessoal, capacidade de investigação, liderança, conhecimento da área de negócios)
(Süße et al., 2021)	Competências relacionadas com a Inteligência Artificial (IA): - Compreensão e interpretação dos sistemas - Comunicação clara e objetiva - Avaliar a adequação do sistema de IA no que diz respeito à execução de tarefas específicas - Pensamento crítico - Discurso construtivo - Capacidade para lidar com dados confidenciais de forma crítica - Defender os padrões éticos e morais

	- Capacidade de negociação
(Moencks et al., 2022)	- Competências sociais (criatividade, comportamento, atitude, espírito de liderança, coordenação, comunicação, motivação, adaptabilidade) - Competências técnicas (conhecimento de operações, conhecimento de tecnologias de controlo ou programação)

Como se pode verificar na Tabela 4, as competências podem ser analisadas em diferentes níveis incluindo o individual, o coletivo e o empresarial. De acordo com Grzelczak et al. (2017) e considerando todas as informações descritas pode-se assumir que as competências incluem: o conhecimento, as habilidades (*soft skills* e habilidades técnicas) e a atitude refletida nas ações, tal como demonstrado na Figura 14.



Figura 14 – Estrutura das competências. Adaptado de: Grzelczak et al. (2017)

A componente de conhecimento pode ser alcançada de forma formal ou informal, nos seguintes modos: *know-what*, *know-why*, *know-how* e *know-who*. O próximo componente da competência é a habilidade, determinada pela atividade prática, incluindo a experiência. Finalmente, a atitude expressa vontade e prontidão para usar os conhecimentos e habilidades nas ações (Grzelczak et al., 2017).

No mesmo estudo, os autores categorizam as competências como: técnicas (conhecimentos e habilidades relacionadas com o trabalho), metodológicas (competências e habilidades para a resolução de problemas gerais e tomada de decisão), sociais (cooperação e comunicação com os outros) e pessoais (valores sociais do indivíduo, motivações e atitudes). Fazem ainda um levantamento das principais competências dos trabalhadores, para a implementação da I4.0, nomeadamente: pensamento e ação interdisciplinar, conhecimento do processo, participação em processos inovadores, resolução de problemas, responsabilidade pessoal pela tomada de decisão, habilidades sociais e comunicação, liderança, capacidade de coordenação de processos de trabalho, capacidade de cooperar/interagir com máquinas. Os estudos Hecklau et al. (2016) e Sapper et al. (2021) categorizaram as competências da mesma forma e referiram que estas são as competências nas quais o desenvolvimento de recursos humanos das empresas precisa de se concentrar.

De acordo com Ansari et al. (2020), a aprendizagem humana deve ser vista como um processo contínuo ao longo da vida. O primeiro passo é treinar (receber) e aprender o *know-what* em

profundidade e amplitude como os factos, princípios, teorias e práticas. Posteriormente, o formando deve praticar como aplicar o *know-what* e ser capaz de explicar porque é que as ações devem ser realizadas de determinada forma. Neste contexto, o formando como titular de um emprego deve ser capaz de se envolver de forma ativa no trabalho, de comunicar com a restante equipa, ser responsável, e, acima de tudo, saber resolver problemas novos/emergentes. Os autores consideraram ainda que existem dois modos de aprendizagem: (i) aprendizagem baseada na ciência e conhecimento técnico (para aprender o saber-o que) e (ii) aprendizagem baseada no fazer, experimentar e interagir (para aprender o saber-fazer e o saber-porquê). Os formandos estão mais no modo de aprender *know-what* quando ainda não começaram um trabalho e estão em formação. Em contraste, quando estão no ambiente de trabalho, estão mais no modo de aprender fazer e aprender *know-how* e *know-why*. Para o desenvolvimento de competências, o estudo realizado por Daling, Schroder, Haberstroh, & Hees (2019), referiu que existem diferentes métricas que podem ser categorizadas de acordo com os fatores temporais, conteúdos envolvidos e espaciais. Tal como apresentado na Figura 15 as competências podem ser desenvolvidas, *into the job*, *along the job* e *out of the job*.

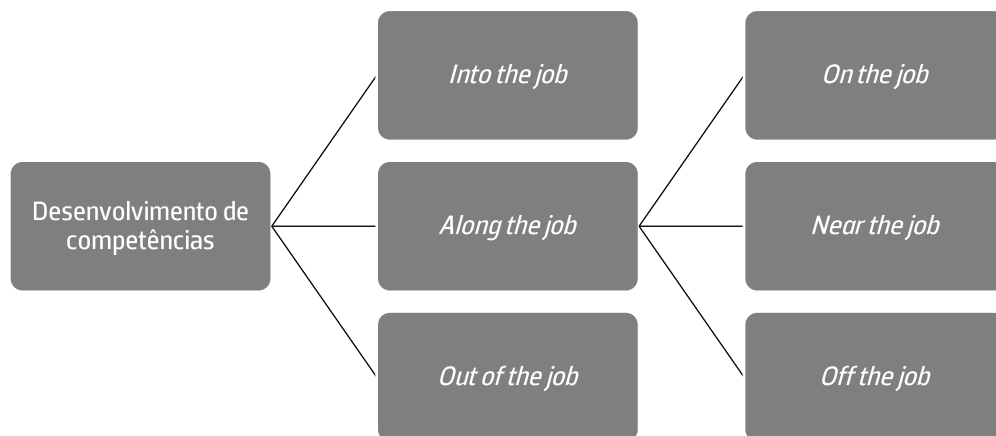


Figura 15 – Desenvolvimento de competências. Adaptado de: Daling et al. (2019)

A formação *into the job* é a que promove o desenvolvimento inicial de competências específicas, que dizem respeito por exemplo, à formação profissional ou processos de aprendizagem para tarefas completamente novas. As formações *along the job* geralmente fazem parte dos processos de aprendizagem ao longo da carreira, especialmente quando o desenvolvimento pessoal é necessário devido à mudança de perfis de trabalho. As formações *out of the job* são aquelas que apoiam tanto a saída gradual do trabalho como os preparativos para mudanças de emprego internas ou externas. Assim, a qualificação dos trabalhadores deve ter em consideração as necessidades dos diferentes grupos-alvo, de forma a envolver toda a empresa. Desta forma é importante investir em: (1) formações no trabalho para aprendizes e estagiários, dado que estes representam futuros trabalhadores

operacionais e gestores no contexto de fábrica (2) formações ao longo do trabalho para que os trabalhadores atuais aprendam e desenvolvam novas competências, dado que as suas tarefas serão complementadas com novas tecnologias, e (3) formações fora do trabalho para melhorar a transferência de conhecimento entre trabalhadores mais velhos e mais jovens ou para apoiar a flexibilidade dentro de uma empresa por meio de medidas de rotação de trabalho. Até o momento, existem várias abordagens para o desenvolvimento de competências *along the job*, sendo que a maioria delas considera novas possibilidades através do progresso tecnológico em curso, como ambientes digitais de aprendizagem ou formações que incluem os sistemas de simulação baseado na realidade mista via RV ou RA. A utilização de dispositivos e de tecnologia para determinar soluções em tempo real, podem ser incluídas como medidas *on the job*. Por sua vez, as fábricas de aprendizagem permitem que as formações sejam realizadas dentro da empresa, mas não diretamente no local de trabalho, sendo por isso consideradas como medidas *near the job*. As fábricas de aprendizagem compreendem um ambiente de aprendizagem real e podem ser usadas e ajustadas para diferentes grupos-alvo e propósitos de aprendizagem. Como nem todas as organizações têm a possibilidade de construir essas fábricas dentro de seu espaço de trabalho, estas geralmente enviam os seus trabalhadores para diferentes oficinas ou empresas colaboradoras, sendo considerada uma formação fora do trabalho (*off the job*), principalmente por meio de *workshops*. Essas formações permitem a aquisição de conhecimentos sobre o uso de máquinas, mas carecem de sua transferibilidade em processos produtivos específicos de diferentes empresas (Daling et al., 2019).

3.1.2.2 Desenvolvimento de Plataformas de Formação

Para além da criação de ambientes de aprendizagem, outros estudos (Ansari et al., 2020; Daling et al., 2019; Gorecky et al., 2014; Heyse, 2019; Oberc et al., 2019; Prinz et al., 2016; Ras et al., 2017) tiveram como objetivo o desenvolvimento de plataformas de formação ou a criação de conteúdos/dispositivos de apoio à formação.

Oberc et al. (2019) desenvolveram um seminário numa fábrica de aprendizagem para estudantes e trabalhadores industriais sobre como integrar robôs colaborativos em linhas de montagem manuais. Deste modo, o estudo centrou-se na criação de um seminário com os métodos essenciais e conceitos necessários para analisar locais de trabalho, simular a integração de robôs na indústria e verificar a possibilidade de análise da carga de trabalho distribuída entre o trabalhador e o robô. Ferramentas como análise de “verificação rápida” para a colaboração humano-robô e *software* de simulação de atividades de trabalho manual serão integrados durante este conceito. A última parte do seminário foi a implementação técnica dos conceitos. Teve início com um *software* de simulação chamado Editor

para Atividades de Trabalho Manual. Após a análise no *software*, a próxima tarefa consistiu em projetar os novos locais de trabalho, sendo o último passo a programação de robôs.

Prinz et al. (2016) referem que os trabalhadores no nível de chão de fábrica devem estar capacitados para lidar com a complexidade das máquinas e de tarefas. Cada vez mais, os trabalhadores possuem mais responsabilidades, dado que necessitam de operar mais máquinas ao mesmo tempo e necessitam de ter mais conhecimentos sobre os processos de produção. Caso ocorram erros nas máquinas, correndo o risco de parar toda a linha de produção, os trabalhadores devem ser capazes de solucionar esses problemas. Neste sentido, com os módulos de formação, foram estabelecidos alguns objetivos de aprendizagem por parte dos trabalhadores, nomeadamente: saber lidar com grandes quantidades de dados e informações, utilizar novos métodos e tecnologias, tornar-se confortável com novas formas e estruturas organizacionais.

O trabalhador, como componente mais flexível da estrutura ciberfísica, necessita de estratégias de qualificação adequadas, para criar o entendimento interdisciplinar necessário para Indústria 4.0. O suporte ideal para o trabalhador lidar com a gama versátil de problemas é fornecido por meios de assistência tecnológica, como é o caso da utilização de plataformas móveis, como *smartphones*, *tablets* e *smartglasses*, que serão as ferramentas mais úteis e que serão usados para exibir as informações necessárias. Neste seguimento, Gorecky et al. (2014) descreveram como exemplo uma estação de montagem em que o trabalhador realiza o processo de trabalho de acordo com as instruções fornecidas. As etapas de montagem individuais são rastreadas e comparadas com o modelo de referência armazenado em sistema (modelo de fluxo de trabalho). Desta forma, é implementada a assistência em tempo real, que orienta automaticamente o trabalhador e os processos de trabalho, fornecendo *feedback* relevante quando os erros aparecem, permitindo a rápida correção de erros e resolução de problemas.

3.1.2.3 Desenvolvimento de currículos escolares

Nos estudos anteriores o foco foram sempre os trabalhadores e a sua formação para acompanhar esta nova era digital, contudo, dado o desenvolvimento cada vez mais acentuado da alfabetização digital e inovação é necessário que os estudantes acompanhem esta evolução nas escolas e universidades. Torna-se, por isso, essencial uma mudança de paradigma que requer novas formas de ensino e métodos de aprendizagem para preparar os alunos para atender às necessidades de sociedades inteligentes baseadas em IA cada vez mais complexas. Neste seguimento, um estudo realizado por Pervez et al. (2018), teve como objetivo integrar plataformas de *IoT* nos currículos de ciências e engenharia, para auxiliar os alunos a desenvolver competências de alfabetização digital. Os autores desenvolveram uma proposta de um sistema baseado em IA para melhorar a aprendizagem e o ensino

da educação e destacam a importância do conhecimento de linguagens de programação nos currículos. Outro estudo realizado por Cantú-Ortiz, Galeano Sánchez, Garrido, Terashima-Marin, & Brena (2020) apresentou uma estratégia sobre como preparar os alunos para que estes tenham as competências e habilidades necessárias para a transformação digital atual e futura da I4.0. Desta forma, reformularam e renovaram os currículos de uma universidade, de acordo com um novo modelo educativo conhecido como Tec21 Modelo Educativo. As ofertas de cursos neste modelo foram estruturadas com aprendizagem baseada em desafios, físico e virtual, laboratórios de prática e metodologias de ensino mistas para acompanhar a transformação digital. Os autores fizeram ainda referência que esta atualização dos currículos tem em vista o uso intensivo e extensivo de tecnologia nos programas de IA que vão desde tarefas de casa como pesquisas de artigos, a aulas, estágios industriais, e competições internacionais. As principais tecnologias de IA adquiridas pelos estudantes por meio de problemas e projetos incluem sistemas baseados em conhecimento, reconhecimento de fala, compreensão de linguagem natural, imagem processamento, visão computacional, redes neurais, algoritmos genéticos, otimização inteligente, robótica, controle inteligente, ciência de dados, ontologias, entre outras tecnologias, que são continuamente atualizadas para a sua formação. Por sua vez, o estudo realizado por Spöttl & Windelband (2021) procurou descobrir quais os requisitos de qualificação para os trabalhadores no chão de fábrica, a fim de obter uma visão sobre uma nova forma de ensino e formação profissional e os seus currículos. Através da análise de um estudo de caso, da realização de entrevistas e *workshops* com um grupo de elementos de uma empresa, foi realizado um levantamento das competências necessárias para a implementação da I4.0, entre as quais se destacam: conhecimento das tecnologias de informação e produção, atualização de conhecimentos por meio da *internet*/manuais/ instruções, conhecimento dos *softwares*, execução de tarefas parametrizadas, tomada de decisões, habilidade para otimizar procedimentos. Através do levantamento e conhecimento destas competências, os autores sugerem algumas alterações ao nível dos currículos escolares, com o intuito de darem resposta a estas necessidades.

3.1.3. Estudos experimentais e instrumentação

Na Tabela 5 pode observar-se a instrumentação e/ou tecnologia utilizada pelos estudos que integraram uma componente experimental (por exemplo, simulação com uma amostra).

Como é possível verificar na Tabela 5, a instrumentação e a tecnologia utilizada pelos autores nos seus estudos recaiu sobre *softwares*/aplicações/dispositivos (13), módulos de formação (10), entrevistas (9), interação de humanos com robôs (8), observações do local de trabalho (6), questionários (5), programas de realidade virtual (4) e aumentada (4), *workshops* (3), testes avaliativos (2) e programas de inteligência artificial (1).

Tabela 5 – Instrumentação e/ou tecnologia utilizada nos estudos.

Referência	Instrumentação/Tecnologia										
	Realidade Virtual	Realidade Aumentada	Software/ Aplicações/ Dispositivos	Entrevistas	Observação do local de trabalho	Módulos de formação	Teste avaliativo	Questionários	Interação humano-robô	Programas de IA	Workshop
(Long et al., 2003)			x			x					
(Bayo-Moriones et al., 2006)				x				x			
(Yu et al., 2011)				x	x						
(Quint et al., 2015)		x	x								
(Richert et al., 2016)	x				x	x			x		
(Prinz et al., 2016)			x			x					
(Blain et al., 2017)			x			x	x		x		
(Longo et al., 2017)		x	x			x			x		
(Ansari et al., 2018)									x		
(Plumanns et al., 2018)				x				x			x
(Heyse, 2019)	x		x								
(Lundh-Snis & Hattinger, 2019)				x	x						
(Loch et al., 2019)	x		x	x		x		x			
(Malik & Bilberg, 2019)			x						x		
(Oberc et al., 2019)						x		x	x		
(Amorim et al., 2020)											x
(Cantú-Ortiz et al., 2020)										x	
(Casillo et al., 2020)			x			x	x				
(Michaelis et al., 2020)				x					x		
(Santo et al., 2020)			x			x		x			
(Carretero et al., 2021)	x	x	x			x			x		
(Eppes et al., 2021)			x								

(Froschauer et al., 2021)		x	x	x	x						
(Spöttl & Windelband, 2021)				x	x						x
(Moencks et al., 2022)				x	x						

A utilização de *softwares*/aplicações/dispositivos é um tipo de instrumentação muito utilizada em alguns estudos que envolvem a RV (Carretero et al., 2021; Heyse, 2019; Loch et al., 2019) e RA (Carretero et al., 2021; Froschauer et al., 2021; Longo et al., 2017; Quint et al., 2015).

A RV e a RA são sistemas cada vez mais utilizados para a formação de trabalhadores, uma vez que permitem que estas sejam realizadas em ambientes seguros e imersivos, minimizando as preocupações no âmbito da segurança, especialmente na formação de novos funcionários. Para a realização de formações com recurso a estas tecnologias é necessário desenvolver alguns *softwares* e aplicações, bem como a utilização de alguns dispositivos (computador, óculos, telemóvel, etc.). Para além dos sistemas anteriormente mencionados, estudos que envolveram a interação humano-robô também utilizaram *softwares*/aplicações/dispositivos, como é o caso do estudo de Malik & Bilberg (2019) e Santo et al. (2020), que desenvolveram *softwares* e aplicações para a distribuição de tarefas entre os humanos e os robôs, tendo em vista a otimização das operações. Estudos que envolvem a criação de assistentes virtuais para os trabalhadores (Casillo et al., 2020; Froschauer et al., 2021), também requerem o desenvolvimento de *softwares* inteligentes e protótipos. Estes assistentes virtuais permitem o desenvolvimento de uma formação personalizada no local de trabalho que não envolve grandes custos para a empresa.

Os módulos de formação são utilizados em 10 estudos (Blain et al., 2017; Carretero et al., 2021; Casillo et al., 2020; Loch et al., 2019; Long et al., 2003; Longo et al., 2017; Oberc et al., 2019; Prinz et al., 2016; Richert et al., 2016; Santo et al., 2020) como instrumentação antes da utilização de qualquer tipo de aplicação, protótipo, dispositivo ou realização de tarefa por parte dos participantes. Estes módulos de formação são importantes dado que são transmitidas informações personalizadas e contextualizadas, necessárias e relevantes para o sucesso do estudo.

Em alguns casos os autores recorreram a testes avaliativos para avaliação da aprendizagem dos participantes em estudo (Casillo et al., 2020; Blain et al., 2017).

Para processos de recolha de informação, identificação/caracterização dos participantes ou de aspetos específicos do objetivo dos estudos, foram utilizadas entrevistas (Moencks et al., 2022; Froschauer et al., 2021; Spöttl & Windelband, 2021; Michaelis et al., 2020; Loch et al., 2019; Lundh-Snis & Hattinger, 2019; Plumanns, Janssen, & Vossen, 2018; Yu, Shen, & Lewark, 2011; Bayo-Moriones, Billón, & Lera-López, 2006), observações do local de trabalho (Moencks et al., 2022; Froschauer et al., 2021; Spöttl & Windelband, 2021; Lundh-Snis & Hattinger, 2019; Richert et al., 2016; Yu, Shen, &

Lewark, 2011), questionários (Santo et al., 2020; Loch et al., 2019; Oberc et al., 2019; Plumanns, Janssen, & Vossen, 2018; Bayo-Moriones, Billón, & Lera-López, 2006) e *workshops* (Spöttl & Windelband, 2021; Amorim et al., 2020; Plumanns, Janssen, & Vossen, 2018), como métodos de instrumentação.

3.1.4. Estudos classificados com base nas competências digitais

As competências digitais são essenciais para a inclusão dos trabalhadores no mercado de trabalho. No entanto, as competências digitais podem ser bastante amplas e, implicar o uso de um computador, navegação na *internet* ou até a programação avançada. Desta forma, é importante definir e medir o grau de exigência das competências digitais associadas a cada tipo de tarefa dentro de uma organização, dado que nem sempre a automatização implica o aumento do nível de competências digitais por parte do trabalhador, numa determinada tarefa. Para além disso, a mesma tarefa, quando comparada entre organizações, pode diferir quanto ao grau de exigência de competências digitais necessárias para o trabalhador, devido aos diferentes contextos organizacionais (Julia Nania et al., 2019). Neste sentido, o estudo realizado por Lloyd & Payne (2022), analisou o grau de complexidade das competências digitais exigidas em diferentes setores e locais de trabalho, mais concretamente em trabalhadores de indústrias de processamento de alimentos e bebidas, transportadores logísticos e trabalhadores de serviços em hospitais públicos. Realizaram ainda uma comparação destas atividades em diferentes países, mais precisamente entre a Noruega e o Reino Unido. Estes são dois países com mercado de trabalho e instituições sociais fortemente contrastantes, que diferem no grau de exigência de competências digitais em toda a população em geral.

Tendo por base o estudo de Lloyd & Payne (2022) os estudos com componente experimental, ou seja, em que existiu uma interação dos participantes com tecnologia ou a simulação de criação de ambientes de aprendizagem, foram classificados quanto à sua exigência no âmbito das competências digitais, desde desde o nível mais básico (Digitalizar e receber informação) até ao mais complexo (Monitorizar e ajustar menus de controlo múltiplos), conforme presente a Tabela 6.

Tabela 6 – Classificação dos estudos com base nas competências digitais adquiridas.

Referência	Classificação dos estudos com base nas competências digitais adquiridas				
	Digitalizar e receber informação	Operar sistemas básicos de menus	Operar sistemas mais complexos de menus	Monitorizar e ajustar menus de controlo simples	Monitorizar e ajustar menus de controlo múltiplos
(Loch et al., 2019)					

(Carretero et al., 2021)					
(Richert et al., 2016)					
(Longo et al., 2017)					
(Malik & Bilberg, 2019)					
(Casillo et al., 2020)					
(Michaelis et al., 2020)					
(Santo et al., 2020)					
(Froschauer et al., 2021)					
(Blain et al., 2017)					

Analisando a Tabela 6, verifica-se que apenas um estudo desenvolvido por Loch et al. (2019) exige competências digitais mais básicas aos seus participantes, sendo por isso classificado como *Digitalizar e receber informação*. Este estudo teve como objetivo facilitar a integração de trabalhadores mais velhos nas indústrias automatizadas, utilizando para isso um sistema de formação virtual adaptável. A formação foi realizada por meio de RV e consistiu na visualização de um caso prático de troca de uma ferramenta numa máquina industrial de marcenaria. O sistema de formação consistiu na utilização de dois componentes: uma aplicação *desktop* que fornecia o ambiente virtual e uma aplicação no *tablet* que fornecia a interface do utilizador. O sistema de formação foi apresentado numa parede para fornecer uma experiência de formação imersiva. O *tablet* e o rato estavam numa localização conveniente em frente aos participantes. Os participantes tinham apenas de assistir à formação, clicando nos itens para dar seguimento aos conteúdos, verificando-se assim a necessidade básica de competências digitais. O grupo de controlo foram jovens estudantes que também assistiram a uma formação distinta, não adaptável, de forma avaliar as diferenças na aquisição final de conhecimento. No final foi possível verificar que o grupo com participantes mais velhos adquiriu bem os conhecimentos transmitidos na formação, sendo que a reduzida complexidade do sistema de formação adaptável, facilitou a perceção das instruções, tornando-se numa formação mais eficaz e satisfatória. O grupo de estudantes, significativamente mais jovem e com mais experiência com ambientes virtuais, necessita de um sistema de formação com características diferenciadas.

O estudo desenvolvido por Carretero et al. (2021), apresentou uma metodologia para desenvolver tutoriais sobre RV e cursos de formação para preparação profissional de trabalhos industriais, com vista à resolução dos seguintes problemas: i) como criar um modelo virtual de estações de trabalho para reconstrução 3D, ii) como aplicar o comportamento esperado aos modelos 3D, e iii) como preparar tutoriais online e formar trabalhadores no ambiente virtual. Neste sentido, os autores apresentam uma

metodologia para a formação do pessoal para processos industriais e utilização de máquinas por meio de tecnologias de RV. A metodologia e as aplicações desenvolvidas foram testadas com funcionários internos da empresa envolvidos nos processos de fábrica. Foram realizados testes com 5 utilizadores com diferentes funções, nomeadamente 3 criadores de conteúdo (especialistas e tutores de processos e 2 estagiários. Num ambiente com RV todos os formandos tiveram a oportunidade de interagir e operar em segurança com a máquina e sem incorrer em custos monetários adicionais. A modelagem de locais de trabalho e peças industriais foi efetuada com a utilização de modelos CAD pré-existentis. Uma vez adquiridas as peças, estas foram adaptadas e editadas para serem incluídas no ambiente de RV. Foram necessárias operações como simplificação e reparação do modelo 3D. Foi ainda desenvolvida uma aplicação *web* para indicar, passo a passo, o que devem fazer os formandos nas aulas de formação com RV. Durante a formação, todas as ações do formando foram monitorizadas e os resultados da avaliação foram enviados para o sistema de gestão de aprendizagem, onde o tutor pode realizar a avaliação final do formando. A implementação desta metodologia e as aplicações resultantes oferecem uma maneira fácil de formar operadores para trabalhos industriais onde é complicado praticar com as máquinas reais ou nos locais de trabalho reais. Consequentemente, para os participantes do estudo, o nível de exigência de competências digitais, pode ir desde o mais básico (*Digitalizar e receber informação*) – visualização dos conteúdos da formação pela aplicação *web* – até ao mais complexo (*Monitorizar e ajustar menus de controlo múltiplos*) – interação com as máquinas em ambientes de formação, que implica a sua monitorização, ajuste e controlo de múltiplos sistemas. Os estudos de Casillo et al. (2020), Froschauer et al. (2021), Longo et al. (2017) e Santo et al. (2020), apresentam semelhanças no âmbito das competências digitais, dado que os participantes dos mesmos foram integrados em cenários de criação de ambientes de aprendizagem por meio da utilização de sistemas de assistência digital (ex: *chatbots* e *SOPHOS-MS*). Para tal, os participantes dos estudos obtiveram sempre uma formação inicial (em que podem ler informações de texto, aumentar e diminuir o zoom as representações em 3D, interagir com a realidade virtual e/ou conteúdos de realidade aumentada – *Operar sistemas básicos de menus* e posteriormente, por meio da realização de uma tarefa (ex: tarefas de montagem manual, mudança de uma peça numa máquina), em que existe total interação com a máquina no local de trabalho (*Monitorizar e ajustar menus de controlo múltiplos*).

O estudo desenvolvido por Malik & Bilberg (2019), refere-se à aplicação de um estudo de caso industrial de montagem de um linear eletrónico para avaliação e validação de uma metodologia proposta. Neste estudo, os autores criaram uma célula de montagem colaborativa homem-robô. O robô foi implementado com o objetivo de aumentar a produtividade e a automatização de uma parte de uma tarefa de montagem. Operador e robô, na célula de trabalho proposta, compartilham o espaço de trabalho e trabalham simultaneamente. Com o objetivo de uma rápida e simplificada distribuição de tarefas, foi desenvolvido uma aplicação para o *tablet/smartphone*, de modo a facilitar a interface do

utilizador. Consequentemente, é esperado que o utilizador tenha competências para a utilização dos dispositivos, bem como compreensão do processo de montagem, para que possa facilmente utilizar a aplicação. Neste caso, o utilizador insere o título do projeto e inicia a avaliação da tarefa, navegando entre páginas e pressionando o botão “próximo” disponível no ecrã (*Operar sistemas básicos de menus*). Ao selecionar todos os atributos correspondentes para uma determinada tarefa, uma pontuação final é calculada, permitindo assim a distribuição de tarefas entre o humano e o robô. A alocação de tarefas na montagem não é uma atividade única. Com os ciclos de vida dos produtos cada vez menores, espera-se que esta seja uma atividade frequente no chão de fábrica, passando gradualmente das mãos de especialistas para funcionários com baixo nível de conhecimento em robótica. A usabilidade dos *cobots* pode ser aumentada simplificando as interfaces do utilizador por meio de *softwares*. O desenvolvimento dos *cobots* não deve ter como objetivo tirar os humanos do trabalho, mas sim fornecer aos humanos a oportunidade de contribuir com seus esforços para tarefas de valor agregado. Com a coloração humano-robô, surgiram as oportunidades de tornar o trabalho industrial manual mais interessante para os operadores humanos. Conforme descrito, existiu a necessidade de os utilizadores operarem com os robôs, sendo por isso necessário que estes detenham de competências digitais mais complexas (*Monitorizar e ajustar menus de controlo múltiplos*).

Michaelis et al. (2020) e Richert et al. (2016) também se focaram na colaboração com *cobots*, tanto em ambientes industriais como em ambientes de aprendizagem escolar, respetivamente. À semelhança do que aconteceu nos estudos mencionados anteriormente, existiu sempre numa primeira etapa de formação inicial dos humanos para com as máquinas (robôs) e posterior colaboração entre ambos. Consequentemente, no âmbito das competências digitais, os participantes para além das competências básicas (desde o simples carregar num botão à leitura de informações), necessitam de competências digitais complexas, uma vez que tiveram de colaborar com robôs (*Monitorizar e ajustar menus de controlo múltiplos*) para a realização de tarefas e, como tal, a necessidade de resolução de problemas. Desta forma, verifica-se que a capacidade para trabalhar em equipas híbridas compostas por humanos e robôs, bem como a capacidade para a resolução de problemas através do trabalho em equipa, apresenta cada vez mais importância.

Por sua vez, o estudo realizado por Blain et al. (2017) exigiu aos participantes um nível de competências digitais mais complexas. Este estudo fez referência a um projeto de educação interdisciplinar no âmbito da interação humano-robô que combinou diferentes disciplinas técnicas e artísticas. Teve como principal objetivo o desenvolvimento e a criação, por parte dos participantes, de robôs apropriados que pudessem sobreviver e funcionassem num determinado ambiente, tendo como foco a resolução de problemas do mundo real. Como tal, era importante que os participantes tivessem competências técnicas e cognitivas avançadas, dado que tiveram de programar, desenvolver e criar estes robôs. Fazer com que os participantes construíssem os seus próprios robôs, não exigiu apenas que eles

entendessem os conteúdos teóricos no âmbito da interação humano-robô, mas também entendessem a aplicação mecânica das funcionalidades do robô, necessitando para isso que eles monitorizassem e ajustassem diferentes sistemas de controlo (*Monitorizar e ajustar menus de controlo múltiplos*).

Com a análise dos estudos, percebe-se que, na sua maioria requerem dos seus participantes a existência de competências digitais mais complexas. A componente mais básica faz sempre referência à visualização de informação/conteúdos no âmbito da formação, preferencialmente antes da interação dos mesmos com a tecnologia. A necessidade de competências digitais mais complexas acontece devido à interação dos participantes com máquinas industriais ou com robôs, o que implica a sua monitorização e o ajuste de controlos múltiplos. Como tal, sublinha-se a necessidade de formação dos trabalhadores, para atualização de conhecimentos e aquisição de novas competências no âmbito da alfabetização digital, de forma a acompanharem a rápida evolução tecnológica.

4. Conclusões e Perspetivas Futuras

O mundo do trabalho atual é afetado por importantes e rápidas transformações que produzem impactos profundos nas atividades económicas, incluindo na organização do trabalho e nas relações de emprego. Dos vários cenários que se perspetivam relativamente ao futuro do trabalho, coexistem a visão de empregos de baixa qualificação em risco, em virtude da crescente automatização, robotização e da inteligência artificial. A aprendizagem ao longo da vida assume, neste contexto, uma importância crescente para transformar novos e velhos desafios em oportunidades, tanto na transição para o mercado de trabalho, como nas várias transições profissionais que ocorrerão ao longo de toda a vida ativa.

Na presente revisão sistemática da literatura foi possível comprovar que o nível de exigência de competências por parte dos trabalhadores das organizações está cada vez mais elevado. Para auxiliar os trabalhadores, as organizações podem colocar em prática diferentes estratégias de qualificação, que permitem a transmissão de conhecimentos e competências relativas às funções a exercer. As organizações podem ministrar formações aos seus trabalhadores em vários momentos (no trabalho, ao longo do trabalho e fora do trabalho), tendo em consideração as necessidades dos diferentes grupos-alvo, envolvendo assim toda a organização. Com base nos estudos analisados foi possível verificar que, na maior parte, os autores optam pela criação de ambientes de aprendizagem, através da utilização de diferentes tecnologias, como a RV, a RA e tecnologias de assistência (*chatbot*). Mediante a análise dos resultados experimentais percebeu-se que o impacto da formação ministrada por meio destas tecnologias é superior à formação realizada em contexto “sala de aula”, que ainda é muito recorrente. Na sua generalidade, os participantes assumem a sua satisfação e a excelência na aquisição de conhecimentos. Contudo, existem algumas limitações e desafios na utilização das tecnologias para a formação dos trabalhadores, entre as quais se destacam a elevada necessidade de recursos, uma vez que as organizações têm de ter disponível as tecnologias, bem como toda a instrumentação necessária para a sua implementação (dispositivos móveis, sistemas de *hardware* e *software*). A complexidade das tarefas, a configuração das ferramentas e as condições ambientais também constituem algumas das limitações referenciadas. Outra limitação que importa destacar foi o facto deste tipo de tecnologias de aprendizagem não serem utilizadas em trabalhadores com algum tipo de deficiência cognitiva e/ou física. No mundo atual seria importante o desenvolvimento de um protótipo de uma tecnologia de aprendizagem que fosse eficaz para todos os trabalhadores, respeitando as necessidades de cada um.

Com o avanço tecnológico e introdução de novas máquinas no local de trabalho, a formação dos trabalhadores, para além de permitir o aumento do seu conhecimento e aquisição de competências, permite também a redução do risco de acidentes de trabalho, bem como a aceitação e o aumento dos níveis de confiança em trabalhos colaborativos. Sobre este facto, uma grande vantagem da utilização

de novas tecnologias para a formação dos trabalhadores na interação com máquinas/robôs é que estas permitem a rápida e imediata detecção e correção dos erros dos trabalhadores na execução das suas tarefas, diminuindo assim a probabilidade de falha e a ocorrência de acidentes de trabalho.

Na análise efetuada à classificação dos estudos com base nas competências digitais dos participantes constatou-se que na sua generalidade requerem desde competências mais básicas (digitalizar e receber informação) às mais complexas, que implicam a monitorização e ajuste de menus de controlo. Este facto reforça a necessidade de os trabalhadores atualizarem os seus conhecimentos e competências e da importância das organizações os auxiliarem, principalmente, no que diz respeito a trabalhadores com baixa escolaridade e com poucas qualificações. Deste modo, a gestão de recursos humanos das organizações não deve estar orientada apenas na seleção, contratação e demissão dos trabalhadores, mas também no desenvolvimento de outras valências como a formação e aprendizagem. Juntamente com a equipa de Recursos Humanos de uma organização, os Técnicos Superiores de Segurança e Saúde no Trabalho devem atuar em conjunto, não só no âmbito das competências digitais dos trabalhadores, como também na redução dos acidentes de trabalho e das lesões provenientes do trabalho automatizado.

Para além das competências técnicas necessárias, existem outras igualmente importantes e com destaque que os trabalhadores devem possuir e desenvolver para a otimização do seu desempenho na I4.0. A grande maioria dos estudos experimentais recorre a tecnologias para a formação dos trabalhadores, em que a única valência que trabalham é a técnica. Em estudos futuros, seria interessante a realização de um levantamento de todas as competências digitais dos trabalhadores de uma determinada organização automatizada, por meio de instrumentação adequada e desenvolver um modelo formativo onde fosse possível trabalhar cada competência considerada fundamental para a empresa em questão. Após a formação seria importante medir o seu impacto, através da utilização de diferentes ferramentas, com o intuito de verificar possíveis mudanças nos trabalhadores. Para o desenvolvimento da formação seria importante a existência de uma equipa multidisciplinar, que incluísse para além do Técnico de Segurança e Saúde no Trabalho, um profissional de Psicologia e de Recursos Humanos.

Como acontece em todos os estudos, o presente trabalho também teve algumas limitações. Considerando a metodologia das revisões sistemáticas da literatura, foi realizada uma leitura de resultados já resumidos por outros autores, o que pode levar a erros de interpretação. Adicionalmente, nesta revisão sistemática da literatura apenas foram incluídos estudos em inglês, não incluindo assim estudos potencialmente relevantes noutros idiomas. A pesquisa foi limitada apenas a duas bases de dados (*Web of Science* e *Scopus*).

Referências Bibliográficas

- Aaltonen, I., Salmi, T., & Marstio, I. (2018). Refining levels of collaboration to support the design and evaluation of human–robot interaction in the manufacturing industry. *Procedia CIRP*, 72, 93–98. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.214>
- Ajoudani, A., Albrecht, P., Bianchi, M., Cherubini, A., Del Ferraro, S., Fraise, P., ... Wischniewski, S. (2020). Smart Collaborative Systems for Enabling Flexible and Ergonomic Work Practices [Industry Activities]. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 27(2), 169–176. <https://doi.org/10.1109/MRA.2020.2985344>
- Alcácer, V., & Cruz–Machado, V. (2019). Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>
- Amorim, M., Ferreira Dias, M., Rodrigues, M., Madureira, R., Madaleno, M., Souza, A., ... Vitoria, A. (2020). Education and Qualification Challenges for Young Professionals To Address Digitalized Work and Life Contexts. *INTED2020 Proceedings*, 1(September), 7053–7059. <https://doi.org/10.21125/inted.2020.1868>
- Ansari, F., Erol, S., & Sihni, W. (2018). Rethinking Human–Machine Learning in Industry 4.0: How Does the Paradigm Shift Treat the Role of Human Learning? *Procedia Manufacturing*, 23(2017), 117–122. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.003>
- Ansari, F., Hold, P., & Khobreh, M. (2020). A knowledge–based approach for representing jobholder profile toward optimal human–machine collaboration in cyber physical production systems. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 28, 87–106. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2019.11.005>
- Apriaskar, E., Fahmizal, & Fauzi, M. R. (2020). Robotic technology towards industry 4.0: Automatic object sorting robot arm using kinect sensor. *Journal of Physics: Conference Series*, 1444(1), 0–8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1444/1/012030>
- Arents, J., Abolins, V., Judvaitis, J., Vismanis, O., Oraby, A., & Ozols, K. (2021). Human–robot collaboration trends and safety aspects: A systematic review. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/jsan10030048>
- Arslan, A., Cooper, C., Khan, Z., Golgeci, I., & Ali, I. (2021). Artificial intelligence and human workers interaction at team level: a conceptual assessment of the challenges and potential HRM strategies. *International Journal of Manpower*, 43(1), 75–88. <https://doi.org/10.1108/IJM-01-2021-0052>
- Azevedo, A., & Almeida, A. H. (2021). Grasp the challenge of digital transition in smes—a training course geared towards decision–makers. *Education Sciences*, 11(4), 1–20. <https://doi.org/10.3390/educsci11040151>

- Bauer, W., Bender, M., Braun, M., Rally, P., & Scholt, O. (2016). Lightweight robots in manual assembly – best to start simply ! (Fraunhofer IAO, Ed.).
- Bayo-Moriones, A., Billón, M., & Lera-López, F. (2006). Skills, technology and organisational innovation in Spanish firms. *International Journal of Manpower*, 29(2), 122–145. <https://doi.org/10.1108/01437720810872695>
- Bejarano, R., Ferrer, B. R., Mohammed, W. M., & Martinez Lastra, J. L. (2019). Implementing a human-robot collaborative assembly workstation. *IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 2019–July, 557–564. <https://doi.org/10.1109/INDIN41052.2019.8972158>
- Belov, V., & Govorova, N. (2016). Educational sector and labor market of the European Union: problems and prospects. *SHS Web of Conferences*, 29(June 2010), 02004. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20162902004>
- Benešová, A., & Tupa, J. (2017). Requirements for Education and Qualification of People in Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11(June), 2195–2202. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.366>
- Benos, L., Bechar, A., & Bochtis, D. (2020). Safety and ergonomics in human-robot interactive agricultural operations. *Biosystems Engineering*, 200, 55–72. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.09.009>
- Bi, Z. M., Luo, M., Miao, Z., Zhang, B., Zhang, W. J., & Wang, L. (2021). Safety assurance mechanisms of collaborative robotic systems in manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 67(April 2020). <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.102022>
- Blain, R., Ferworn, A., Li, J., Tran, J., & Carter, M. (2017). A Multidisciplinary Approach to Learning Human-Robot Interaction (HRI) Through Real-World Problem Solving—The “BUSA Dig.” *Journal of Human-Robot Interaction*, 6(2), 70. <https://doi.org/10.5898/jhri.6.2.blain>
- Blankemeyer, S., Recker, T., Stuke, T., Brokmann, J., Geese, M., Reiniger, M., ... Raatz, A. (2018). A method to distinguish potential workplaces for human-robot collaboration. *Procedia CIRP*, 76, 171–176. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.02.008>
- Boettcher, M. (2015). Revolução Industrial – Um pouco de história da Indústria 1.0 até a Indústria 4.0. Retrieved from <https://www.linkedin.com/pulse/revolucao-industrial-um-pouco-de-historia-da-10-até-boettcher>
- Brunetti, F., Matt, D. T., Bonfanti, A., De Longhi, A., Pedrini, G., & Orzes, G. (2020). Digital transformation challenges: strategies emerging from a multi-stakeholder approach. *TQM Journal*, 32(4), 697–724. <https://doi.org/10.1108/TQM-12-2019-0309>
- Calitz, A. P., Poisat, P., & Cullen, M. (2017). The future African workplace: The use of collaborative robots in manufacturing. *SA Journal of Human Resource Management*, 1(2), 1–12. <https://doi.org/10.4102/sajhrm.v15i0.901>
- Cantú-Ortiz, F. J., Galeano Sánchez, N., Garrido, L., Terashima-Marin, H., & Brena, R. F. (2020). An

- artificial intelligence educational strategy for the digital transformation. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 14(4), 1195–1209. <https://doi.org/10.1007/s12008-020-00702-8>
- Carretero, P., Elorza, I., Garc, S., & Nieves, M. (2021). Methodology to create virtual reality assisted training courses within the Industry 4.0 vision. *Multimedia Tools and Applications*.
- Casillo, M., Colace, F., Fabbri, L., Lombardi, M., Romano, A., & Santaniello, D. (2020). Chatbot in industry 4.0: An approach for training new employees. *Proceedings of 2020 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering, TALE 2020*, 371–376. <https://doi.org/10.1109/TALE48869.2020.9368339>
- Cavalcante, Z. V., & da Silva, M. L. S. (2011). A Importância da Revolução Industrial no mundo da tecnologia. *VII Encontro Nacional de Produção Científica*, 2–3.
- Cohen, Y., Shoval, S., & Faccio, M. (2019). Strategic view on cobot Deployment in Assembly 4.0 systems. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 1519–1524. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.415>
- Comissão Europeia. (2009). Quadro Europeu de Qualificações para a Aprendizagem ao Longo da Vida, 15. <https://doi.org/10.2766/26704>
- Cónego, L., Pinto, R., & Gonçalves, G. (2021). Education 4.0 and the Smart Manufacturing Paradigm: A Conceptual Gateway for Learning Factories, *O*.
- Coşkun, S., Kayıkcı, Y., & Gençay, E. (2019). Adapting Engineering Education to Industry 4.0 Vision. *Technologies*, 7(1), 10. <https://doi.org/10.3390/technologies7010010>
- Cruz, V. S., Freitas, H. C., & Navaux, P. O. A. (2007). Proposta de Expansão do Conjunto de Instruções do MIPS para Robótica. *Concurso de Trabalhos de Iniciação Científica Do VIII Workshop Em Sistemas Computacionais de Alto Desempenho*, (October), 1–5.
- Daling, L. M., Schroder, S., Haberstroh, M., & Hees, F. (2019). Challenges and Requirements for Employee Qualification in the Context of Human-Robot-Collaboration. *Proceedings of IEEE Workshop on Advanced Robotics and Its Social Impacts, ARSO, 2018-Sept*, 85–90. <https://doi.org/10.1109/ARSO.2018.8625850>
- De Carvalho, G. G., Tiosso, F., & Reis, H. M. (2020). Indústria 4.0. *Revista Interface Tecnológica*. <https://doi.org/10.31510/inf.v17i2.980>
- Dede, G., Mitropoulou, P., Nikolaidou, M., Kamalakis, T., & Michalakelis, C. (2021). Safety requirements for symbiotic human-robot collaboration systems in smart factories: a pairwise comparison approach to explore requirements dependencies. *Requirements Engineering*, 26(1), 115–141. <https://doi.org/10.1007/s00766-020-00337-x>
- DGERT. (2021). Tipologias de Formação Profissional. Retrieved from <https://www.dgert.gov.pt/tipologias-de-formacao-profissional>
- Enrique, D. V., Druczkoski, J. C. M., Lima, T. M., & Charrua-Santos, F. (2021). Advantages and difficulties

- of implementing Industry 4.0 technologies for labor flexibility. *Procedia Computer Science*, 181, 347–352. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.177>
- Eppes, T. A., Milanovic, I., Jamshidi, R., & Shetty, D. (2021). Engineering Curriculum in Support of Industry 4.0. *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, 17(1), 4–16. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v17i01.17937>
- EUROP. (2005). EUROP – The European Robotics Plataform. EUROP – The European Robotics Plataform.
- European Agency for Safety and Health at Work. (2015). Análise sobre o Futuro do Trabalho: Robótica. Retrieved from file:///C:/Users/PC/Downloads/PT-W-818- Robotics dicussion paper.pdf
- European Agency for Safety and Health at Work. (2020). Digitalização e segurança e saúde no trabalho (SST) – Um programa de investigação da EU-OSHA.
- European Commission. (n.d.). Década Digital da Europa: objetivos digitais para 2030. Retrieved from https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/europes-digital-decade-digital-targets-2030_pt
- European Commission. (2021a). Digital Economy and Society Index (DESI) 2021. Retrieved from <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/digital-economy-and-society-index-desi-2021>
- European Commission. (2021b). European Education Area, Quality education and training for all. Retrieved from <https://education.ec.europa.eu/pt-pt/focus-topics/digital-education/digital-education-action-plan/digital-education-action-plan-action-12>
- European Commission. (2021c). Industry 5.0. In *European Commission* (pp. 3–5). Retrieved from https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_en
- European Commission. (2021d). Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2777/308407>
- European Commission. (2022a). Industry 5.0: Transformative Vision for Europe. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2777/17322>
- European Commission. (2022b). Shaping Europe's digital future. Retrieved from <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/digital-skills-coalition>
- European Robotics. (2018). EU Robotics. Retrieved from <https://www.eu-robotics.net/>
- Fadhila, D., Aitouche, S., & Aksa, K. (2020). Analysis of Human Skills in Industry 4.0. *EKNOW 2020 : The Twelfth International Conference on Information, Process, and Knowledge Management Analysis*, (c), 24–29.
- FCT. (2019). Agenda temática de I&I Trabalho, Robotização e Qualificação para o Emprego em Portugal.
- Ferrari, A. (2013). DIGCOMP: A Framework for Developing and Understanding Digital Competence in

- Europe. (Y. P. and B. N. Brečko, Ed.). <https://doi.org/10.2788/52966>
- Froschauer, R., Kurschl, W., Wolfartsberger, J., Pimminger, S., Lindorfer, R., & Blattner, J. (2021). A Human-Centered Assembly Workplace for Industry: Challenges and Lessons Learned. *Procedia Computer Science*, 180(January), 290–300. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.166>
- Galaske, N., Arndt, A., Friedrich, H., Bettenhausen, K. D., & Anderl, R. (2018). Workforce management 4.0 – Assessment of human factors readiness towards digital manufacturing. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 606, 106–115. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60474-9_10
- Galin, R., & Meshcheryakov, R. (2019). Review on human–robot interaction during collaboration in a shared workspace. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 11659 LNAI(August), 63–74. https://doi.org/10.1007/978-3-030-26118-4_7
- Gausemeier, J., & Schuh, G. (2016). Industrie 4.0 in a Global Context: Strategies for Cooperating with International Partners (acatech STUDY), (May 2019).
- Gazzaneo, L., Padovano, A., & Umbrello, S. (2020). Designing smart operator 4.0 for human values: A value sensitive design approach. *Procedia Manufacturing*, 42(2019), 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.073>
- Gorecky, D., Schmitt, M., Loskyll, M., & Zühlke, D. (2014). Human–Machine–Interaction in the Industry 4.0 Era. *12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 289–294.
- Grzelczak, A., Kosacka, M., & Werner-Lewandowska, K. (2017). Employees competences for industry 4.0 in Poland–preliminary research results. *24th International Conference on Production Research, ICPR 2017, (Icpr)*, 139–144. <https://doi.org/10.12783/dtetr/icpr2017/17598>
- Gualtieri, L., Palomba, I., Merati, F. A., Rauch, E., & Vidoni, R. (2020). Design of human-centered collaborative assembly workstations for the improvement of operators' physical ergonomics and production efficiency: A case study. *Sustainability (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/su12093606>
- Gualtieri, L., Rauch, E., Vidoni, R., & Matt, D. T. (2020). Safety, Ergonomics and Efficiency in Human–Robot Collaborative Assembly: Design Guidelines and Requirements. *Procedia CIRP*, 91, 367–372. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.188>
- Harkins, A. M. (2008). Leapfrog Principles and Practices: Core Components of Education 3.0 and 4.0. *Futures Research Quarterly*, 24(1), 19–31.
- Hecklau, F., Galeitzke, M., Flachs, S., & Kohl, H. (2016). Holistic Approach for Human Resource Management in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 54, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.102>
- Hentout, A., Aouache, M., Maoudj, A., & Akli, I. (2019). Human–robot interaction in industrial collaborative robotics: a literature review of the decade 2008–2017. *Advanced Robotics*, 33(15–

- 16), 764–799. <https://doi.org/10.1080/01691864.2019.1636714>
- Heyse, J. (2019). Self-adaptive technologies for immersive trainings. *26th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2019 – Proceedings*, 1381–1382. <https://doi.org/10.1109/VR.2019.8798207>
- Holden, R. J., Abebe, E., Russ-Jara, A. L., & Chui, M. A. (2021). Human factors and ergonomics methods for pharmacy research and clinical practice. *Research in Social and Administrative Pharmacy*, 17(12), 2019–2027. <https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2021.04.024>
- Horváth, D., & Szabó, R. Z. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting and Social Change*, 146(June), 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.021>
- IEA. (n.d.). International Ergonomics Association. Retrieved from <https://iea.cc/what-is-ergonomics/>
- IFR. (2019). Industrial Robots. Retrieved from <https://ifr.org/industrial-robots>
- Institute of Technology Assessment. (2015). Effects of Industry 4.0 on vocational education and training. *ITA Manuscript*, 15(15–04), 51. Retrieved from http://epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_15_04.pdf
- International Association of Learning Factories. (2021). International Association of Learning Factories. Retrieved from <https://ialf-online.net/>
- ISO 10218-1:2011. (2011). ISO 10218-1:2011. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/51330.html>
- ISO 10218-2:2011. (2011). ISO 10218-2:2011. Retrieved from <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:10218:-2:ed-1:v1:en>
- ISO 26800:2011. (2011). ISO 26800:2011. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/42885.html>
- ISO 8373:2012. (2012). ISO 8373:2012. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/55890.html>
- ISO 9001. (2015). ISO 9001:2015. Retrieved from <https://certificacaoiso.com.br/iso-9001/>
- ISO 9241-210:2019. (2019). ISO 9241-210:2019. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/77520.html>
- Johansson, J., Abrahamsson, L., Kåreborn, B. B., Fätholm, Y., Grane, C., & Wykowska, A. (2017). Work and Organization in a Digital Industrial Context. *Management Revu*, 28(3), 281–297. <https://doi.org/10.5771/0935-9915-2017-3-281>
- Julia Nania, Bonella, H., Restuccia, D., & Taska, B. (2019). No Longer Optional: Employer Demand for Digital Skills Author Credits Acknowledgements. Burning Glass Technologies. Retrieved from https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/807830/No_Longer_Optional_Employer_Demand_for_Digital_Skills.pdf
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Securing the future of German manufacturing industry:

- Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. *Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*.
- Kim, W., Peternel, L., Lorenzini, M., Babič, J., & Ajoudani, A. (2021). A Human-Robot Collaboration Framework for Improving Ergonomics During Dexterous Operation of Power Tools. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 68(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.102084>
- Kispeter, E. (2018). Digital Skills and Inclusion Research Working Group. Evidence Brief. "What digital skills do adults need to succeed in the workplace now and in the next 10 years?" *Digital Skills and Inclusion Research Working Group Evidence Brief*. Retrieved from https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/807831/What_digital_skills_do_adults_need_to_succeed_in_the_workplace_now_and_in_the_next_10_years_.pdf
- Kofer, D., Bergner, C., Deuerlein, C., Schmidt-Vollus, R., & Heß, P. (2020). Human-robot-collaboration: Innovative processes, from research to series standard. *Procedia CIRP*, 97, 98–103. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.09.185>
- Kolbeinsson, A., Lagerstedt, E., & Lindblom, J. (2018). Classification of collaboration levels for human-robot cooperation in manufacturing. *Advances in Transdisciplinary Engineering*, 8(September), 151–156. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-902-7-151>
- Kolmykova, T., & Merzlyakova, E. (2019). Human role in the modern robotic reproduction development. *Economic Annals-XXI*, 180(11–12), 183–190. <https://doi.org/10.21003/EA.V180-20>
- Korder, S., Tropschuh, B., & Reinhart, G. (2019). A Competence-Based Description of Employees in Reconfigurable Manufacturing Systems. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 566(August), 257–264. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30000-5_33
- Kravcik, M., Wang, X., Ullrich, C., & Igel, C. (2018). Towards competence development for industry 4.0. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 10948 LNAI(June), 442–446. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93846-2_83
- Lambrechts, W., Klaver, J. S., Koudijzer, L., & Semeijn, J. (2021). Human Factors Influencing the Implementation of Cobots in High Volume Distribution Centres. *Logistics*, 5(2), 32. <https://doi.org/10.3390/logistics5020032>
- Lei n.º 102/2009. (2009). Lei n.º 102/2009. Diário da República, 1.ª série — N.º 176 — 10 de Setembro de 2009.
- Lei n.º 7/2009 de 12 de fevereiro. (2009). Lei n.º 7/2009 de 12 de fevereiro. *Diário Da República / Official Journal of the Portuguese Republic*, 1.ª(30), 926–1029. Retrieved from <https://dre.pt/application/file/602193>

- Lei n.º 93/2019 de 4 de setembro. (2019). Lei n.º 93/2019 de 4 de setembro, 5688–5724. Retrieved from <https://dre.pt/home/-/dre/124417106/details/maximized>
- Leiponen, A. (2005). Skills and innovation. *International Journal of Industrial Organization*, 23(5–6), 303–323. <https://doi.org/10.1016/j.ijindorg.2005.03.005>
- Liu, H., & Wang, L. (2017). An AR-based Worker Support System for Human-Robot Collaboration. *Procedia Manufacturing*, 11(June), 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.124>
- Lloyd, C., & Payne, J. (2022). Digital skills in context: Working with robots in lower-skilled jobs. *Economic and Industry Democracy*. <https://doi.org/10.1177/0143831X221111416>
- Loch, F., Bock, S., Zou, M., & Vogel-Heuser, B. (2019). Adapting virtual training systems for industrial procedures to the needs of older people. *IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 2019–July*, 783–788. <https://doi.org/10.1109/INDIN41052.2019.8972247>
- Long, S., Dowsing, R., & Craven, P. (2003). Knowledge-based systems for marking professional IT skills examinations. *Knowledge-Based Systems*, 16(5–6 SPEC.), 287–294. [https://doi.org/10.1016/S0950-7051\(03\)00030-3](https://doi.org/10.1016/S0950-7051(03)00030-3)
- Longo, F., Nicoletti, L., & Padovano, A. (2017). Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context. *Computers & Industrial Engineering*, 113, 144–159. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.09.016>
- Lundh-Snis, U., & Hattinger, M. (2019). Contextualizing Competence and Learning for Industry 4.0. *INTED2019 Proceedings*, 1(July 2021), 6923–6931. <https://doi.org/10.21125/inted.2019.1679>
- Maheso, N., Mpofu, K., & Ramatsetse, B. (2019). A Learning Factory concept for skills enhancement in rail car manufacturing industries. *Procedia Manufacturing*, 31, 187–193. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.030>
- Malik, A. A., & Bilberg, A. (2019). Complexity-based task allocation in human-robot collaborative assembly. *Industrial Robot*, 46(4), 471–480. <https://doi.org/10.1108/IR-11-2018-0231>
- Maresova, P., Soukal, I., Svobodova, L., Hedvicakova, M., Javanmardi, E., Selamat, A., & Krejcar, O. (2018). Consequences of industry 4.0 in business and economics. *Economies*. <https://doi.org/10.3390/economies6030046>
- Matt, D. T., Modrák, V., & Zsifkovits, H. (2020). *Industry 4.0 for SMEs – Challenges, Opportunities and Requirements*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-25425-4>
- Maurice, P., Padois, V., Measson, Y., & Bidaud, P. (2017). Human-oriented design of collaborative robots. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 57, 88–102. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2016.11.011>
- McGunagle, D., & Zizka, L. (2020). Employability skills for 21st-century STEM students: the employers' perspective. *Higher Education, Skills and Work-Based Learning*, 10(3), 591–606.

- <https://doi.org/10.1108/HESWBL-10-2019-0148>
- Mendes, J. A. (2006). Industrialização e património industrial: desenvolvimento e cultura. *VIII Curso de Verão Da Ericeira*, 1–12.
- Menges, B., Sarrey, M., & Henaff, P. (2018). Integration of a collaborative robot in a hard steel industrial environment. *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, 2018–Augus*, 634–637. <https://doi.org/10.1109/COASE.2018.8560583>
- Michaelis, J. E., Siebert-Evenstone, A., Shaffer, D. W., & Mutlu, B. (2020). Collaborative or Simply Uncaged? Understanding Human-Cobot Interactions in Automation. *Conference on Human Factors in Computing Systems – Proceedings*, 1–12. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376547>
- Moencks, M., Roth, E., Bohné, T., & Kristensson, P. O. (2022). Augmented Workforce: contextual, cross-hierarchical enquiries on human-technology integration in industry. *Computers and Industrial Engineering*, 165(November 2021). <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107822>
- Motyl, B., Baronio, G., Uberti, S., Speranza, D., & Filippi, S. (2017). How will Change the Future Engineers' Skills in the Industry 4.0 Framework? A Questionnaire Survey. *Procedia Manufacturing*, 11(June), 1501–1509. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.282>
- Müller, J. (2020). Enabling Technologies for Industry 5.0 – Results of a workshop with Europe's technology leaders. <https://doi.org/10.2777/082634>
- Oberc, H., Prinz, C., Glogowski, P., Lemmerz, K., & Kuhlenkötter, B. (2019). Human Robot Interaction – Learning how to integrate collaborative robots into manual assembly lines. *Procedia Manufacturing*, 31, 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.005>
- Openbionics. (n.d.). Openbionics. Retrieved from <https://openbionics.com/>
- Pervez, S., Abosag, N., Alandjani, G., Shahbaz, M., & Akram, A. (2018). 21St Century Educational Requirements and Teaching Strategies for Competing With the Cyborgs. *5Th International Conference on Education and Social Sciences (Intcess 2018), IV(11)*, 528–537. Retrieved from <http://ijasos.ocerintjournals.org528>
- Plumanns, L., Janssen, D., & Vossen, R. (2018). Digitalization of Learning Infrastructure in the Automotive Industry. Germany.
- Prinz, C., Morlock, F., Freith, S., Kreggenfeld, N., Kreimeier, D., & Kuhlenkötter, B. (2016). Learning Factory Modules for Smart Factories in Industrie 4.0. *Procedia CIRP*, 54, 113–118. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.105>
- Proia, S., Carli, R., Cavone, G., & Dotoli, M. (2021). A Literature Review on Control Techniques for Collaborative Robotics in Industrial Applications. *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, 2021-Augus*, 591–596. <https://doi.org/10.1109/CASE49439.2021.9551600>
- Quint, F., Sebastian, K., & Gorecky, D. (2015). A Mixed-reality Learning Environment. *Procedia Computer*

- Science*, 75(Vare), 43–48. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.199>
- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., & Rajak, S. (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, 224(August 2019), 107546. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107546>
- Ramos, M. (2016). Indústria 4.0: a Nova Revolução Industrial. Retrieved from <https://pontotga.wordpress.com/2016/06/15/industria-4-0-a-nova-revolucao-industrial/>
- Ras, E., Wild, F., Stahl, C., & Baudet, A. (2017). Bridging the skills gap of workers in industry 4.0 by human performance augmentation tools – Challenges and roadmap. *ACM International Conference Proceeding Series, Part F1285*, 428–432. <https://doi.org/10.1145/3056540.3076192>
- Reuter, M., Oberc, H., Wannöf, M., Kreimeier, D., Klippert, J., Pawlicki, P., & Kühlenkötter, B. (2017). Learning Factories' Trainings as an Enabler of Proactive Workers' Participation Regarding Industrie 4.0. *Procedia Manufacturing*, 9, 354–360. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.020>
- Richert, A., Shehadeh, M., Plumanns, L., Gros, K., Schuster, K., & Jeschke, S. (2016). Educating engineers for industry 4.0: Virtual worlds and human-robot-teams: Empirical studies towards a new educational age. *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON, 10–13-April*(April), 142–149. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2016.7474545>
- Robotics Industries Association. (n.d.). UNIMATE // The First Industrial Robot. Retrieved from <https://www.automate.org/a3-content/joseph-engelberger-unimate>
- Romano, V. F., & Dutra, M. S. (2002). *ROBÓTICA INDUSTRIAL*. (Editora Blucher, Ed.). Universidade Braz Cubas.
- Rosário, J. M. (2010). *Robótica Industrial I*. (Editora Baraúna, Ed.).
- Rotatori, D., Lee, E. J., & Sleeva, S. (2021). The evolution of the workforce during the fourth industrial revolution. *Human Resource Development International*, 24(1), 92–103. <https://doi.org/10.1080/13678868.2020.1767453>
- Santo, M. De, Fabbri, L., Mosca, R., Lombardi, M., Romano, A., & Santaniello, D. (2020). A Multilevel approach to recommend working paths in industry 4.0. *Proceedings of 2020 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering, TALE 2020*, 754–757. <https://doi.org/10.1109/TALE48869.2020.9368327>
- Sapper, S., Kohl, M., & Fottner, J. (2021). Future Competency Requirements in Logistics Due to Industry 4.0: A Systematic Literature Review. *Proceedings – 2021 10th International Conference on Industrial Technology and Management, ICITM 2021*, 94–105. <https://doi.org/10.1109/ICITM52822.2021.00025>
- Sheridan, T. B. (2016). Human-Robot Interaction. *Human Factors*, 58(4), 525–532.

<https://doi.org/10.1177/0018720816644364>

- Simões, A. C., Pinto, A., Santos, J., Pinheiro, S., & Romero, D. (2022). Designing human-robot collaboration (HRC) workspaces in industrial settings: A systemic literature review. *Journal of Manufacturing Systems*, 62(May 2021), 28–43. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.11.007>
- Simões, B., De Amicis, R., Barandiaran, I., & Posada, J. (2019). Cross reality to enhance worker cognition in industrial assembly operations. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105(9), 3965–3978. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03939-0>
- Spöttl, G., & Windelband, L. (2021). The 4th industrial revolution—its impact on vocational skills. *Journal of Education and Work*, 34(1), 29–52. <https://doi.org/10.1080/13639080.2020.1858230>
- Süße, T., Kobert, M., & Kries, C. (2021). Antecedents of Constructive Human-AI Collaboration: An Exploration of Human Actors' Key Competencies. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 629 IFIPAI, 113–124. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85969-5_10
- Vieira, M. F. Q., Neto, J., Scaico, A., Santoni, C., & Mercantini, J. M. (2010). A Real-time Interface Simulator for Operator Training: A Proposed Architecture. *Simulation*, 86(1), 53–63. <https://doi.org/10.1177/0037549709346281>
- Villani, V., Sabattini, L., Loch, F., Vogel-Heuser, B., & Fantuzzi, C. (2021). A General Methodology for Adapting Industrial HMIs to Human Operators. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 18(1), 164–175. <https://doi.org/10.1109/TASE.2019.2941541>
- Weiss, A., Wortmeier, A. K., & Kubicek, B. (2021). Cobots in Industry 4.0: A Roadmap for Future Practice Studies on Human-Robot Collaboration. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 51(4), 335–345. <https://doi.org/10.1109/THMS.2021.3092684>
- Yu, N., Shen, L., & Lewark, S. (2011). Drivers and barriers for implementing advanced manufacturing technology in China's furniture industry: An exploratory study. *Forest Products Journal*, 61(1), 83–91. <https://doi.org/10.13073/0015-7473-61.1.83>
- Zacharaki, A., Kostavelis, I., Gasteratos, A., & Dokas, I. (2020). Safety bounds in human robot interaction: A survey. *Safety Science*, 127(January), 104667. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104667>