



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Faculdade de Engenharia

# O Novo Perfil de Trabalhadores para a Indústria 4.0: Exigências Cognitivas e Organizacionais

Estudo Exploratório

**Mariana Cunha da Silva**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia e Gestão Industrial**

(2º ciclo de estudos)

Orientadores: Prof. Doutor Fernando Manuel Bigares Charrua Santos

Prof. Doutora Tânia Daniela Felgueiras Miranda Lima

**Covilhã, Junho de 2018**



# Dedicatória

A minha mãe Maria Cristina Rosa da Silva, minha maior inspiração.



# Agradecimentos

Agradeço a Deus, que me concedeu coragem, força e a oportunidade de concluir este mestrado.

Agradeço especialmente a minha mãe Maria Cristina Rosa da Silva pelo amor incondicional, dedicação, presença em todos os momentos difíceis me aconselhando e se preocupando, garantindo que eu tivesse forças para seguir mesmo com todo o oceano nos separando. A ela que além de mãe sempre foi minha melhor amiga, conseguindo transmitir seu carinho e sendo capaz de neutralizar qualquer angústia ou ansiedade que eu senti.

Gostaria de agradecer ao professor Fernando por toda atenção, paciência e amizade desde que meu sonho de vir para Portugal se iniciou. Não mediu esforços para que eu conseguisse chegar nessa terra encantadora. Tornou-se um espelho de bom profissional e excelente ser humano, que levarei para sempre no meu coração.

Um agradecimento especial a Beatrice que é um ser humano iluminado, de bom coração e que também desde o Brasil me deu todo suporte e dicas para que eu chegasse aqui e me mantivesse bem. Exemplo de mulher dedicada e forte, além de uma amiga que quero levar para sempre.

Um agradecimento a professora Tânia, que ministrou excelentes aulas assim que cheguei em sua disciplina, agregando conhecimento a minha formação profissional, além de sua ajuda na correção e excelência deste trabalho, obrigada de coração.

Um agradecimento ao meu irmão que me ajudou financeiramente a realizar meu sonho, serei eternamente grata.

Aos meus amigos do Brasil que sempre procuraram estar presentes através de mensagens, telefonemas e vídeos.

Enfim a todos que de alguma forma tornaram este caminho mais fácil de ser percorrido.

“Obrigada”.

“A persistência é o menor caminho do êxito”.

Charles Chaplin



# Resumo

Atualmente as indústrias têm procurado aumentar a produtividade e a competitividade. Para obter ganhos em eficiência estão a ser incorporadas novas tecnologias de informação, comunicação e automação nos processos industriais. Esta mudança caracteriza uma nova estratégia para a indústria que surgiu na Alemanha designada por Indústria 4.0.

O aumento da complexidade técnica e organizacional dos processos industriais associados ao desenvolvimento das novas tecnologias irão gerar desafios que não se limitam apenas ao investimento financeiro, mas também estão relacionados com a disponibilidade de recursos humanos qualificados em todos os níveis organizacionais, capazes de lidar com a crescente complexidade dos futuros sistemas de produção.

Com o avanço tecnológico, os trabalhadores experimentarão uma complexidade cada vez maior das suas tarefas diárias, necessitarão de ser altamente flexíveis e demonstrar capacidade de adaptação a ambientes de trabalho muito dinâmicos. À medida que a complexidade interna dos sistemas de produção cresce, as estratégias adequadas de qualificação da força de trabalho são necessárias.

Este trabalho tem como objetivo explorar quais as capacidades cognitivas, as competências e as habilidades que o trabalhador precisará de possuir, combinando esta discussão com aspectos do interface homem-máquina e da robótica no novo cenário de organização dos postos de trabalho.

Através de uma revisão bibliográfica, a capacidade cognitiva, as competências do trabalhador e a organização dos postos de trabalho da Indústria 4.0 são examinados a fim de definir o seu estado da arte e explorar a temática através da ênfase nas competências humanas neste novo contexto.

## Palavras-chave

Indústria 4.0, Capacidade cognitiva, Robôs colaborativos, Interface homem-máquina, Competências



# Abstract

Currently, industries are looking to increase productivity and competitiveness. In order to get more efficiency, advanced information and communication technologies and automation of the processes are being employed, which characterizes a new scenario that started in Germany called Industry 4.0.

The ongoing growth of the technical and organizational complexity of industrial processes, associated with the development of new technologies, will generate challenges that are not only limited to financial investment, but are also related to the availability of qualified people in all organizational levels capable of dealing with the increasing complexity of the future production systems.

With the technological advancements, workers will experience an increasing complexity of their daily tasks, they will need to be highly flexible and demonstrate ability to adapt to very dynamic work environments. As the internal complexity of the production systems grows, appropriate workforce qualification strategies are needed.

This work aims at exploring the cognitive capacities, skills and abilities that the worker will need to have, combining this discussion with the human-machine interface and the aspects of robotics in the new scenario of the new work stations organization.

Through a literature review, the cognitive capacities, the skills of the workers and the work stations organization of Industry 4.0 are reviewed in order to define its state of the art and to explore the theme through the emphasis on human abilities in this new context.

# Keywords

Industry 4.0, Cognitive demands, Cobots, Human-machine interface, Competencies



# Índice

Dedicatória.....	iii
Agradecimentos .....	v
Palavras-chave.....	vii
Abstract.....	ix
Índice .....	xi
Lista de Acrónimos.....	xviii
1. Introdução .....	1
1.1. Enquadramento Geral.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Metodologia.....	3
1.4. Estrutura da Dissertação .....	4
2. Indústria 4.0 .....	6
2.1. Definição .....	6
2.2. Tecnologias .....	8
2.2.1. Internet of Things (IoT).....	10
2.2.2. Cyber Physical Systems (CPS).....	11
2.2.3. Big Data e Analytics .....	12
2.2.4. Linha de Produção Flexível .....	12
2.2.5. Manufatura Aditiva .....	13
2.2.6. Cloud .....	14
2.2.7. Robótica .....	15
2.3. Vantagens e Desafios .....	15
3. Competências do Trabalhador .....	20
3.1. Capacidade Cognitiva .....	20
3.2 As Exigências da Qualificação do Trabalhador da Indústria 4.0.....	24
4. Organização dos Postos de Trabalho.....	35
4.1 Ferramentas HMI para Suporte das Novas Funções.....	36
4.1.1 Realidade Aumentada .....	38
4.1.2 Realidade Virtual .....	39
4.1.3 Inteligência Artificial .....	40
4.2 Robôs Autónomos e Robôs Colaborativos .....	41
4.3 Colaboração entre Trabalhadores e Robôs .....	45
5. Conclusões .....	47

Referências Bibliográficas .....	51
----------------------------------	----



# Lista de Figuras

Figura 1. Estrutura da Dissertação .....	5
Figura 2. As Revoluções Industriais.....	8
Figura 3. Tecnologias da Indústria 4.0.....	10
Figura 4. Fatores influenciadores no processo de aprendizagem .....	22
Figura 5. Competências profissionais para a Indústria 4.0 .....	23
Figura 6. Cronologia da evolução dos operadores .....	25
Figura 7. Exigências de qualificação do trabalhador para Indústria 4.0 .....	26
Figura 8. Quantidade de novos profissionais em 2025 .....	34
Figura 9. Exemplo de interface Homem-Máquina.....	38
Figura 10. Espaço de trabalho compartilhado de um humano e um robô.....	44



## Lista de Tabelas

Tabela 1. Vantagens da Indústria 4.0 .....	17
Tabela 2. Exemplos de utilização de novas tecnologias e habilidades requeridas.....	33
Tabela 3. Especificações funcionais dos operadores x robôs .....	46
Tabela 4. Principais competências citadas.....	47



# Lista de Acrónimos

AR	Augmented Reality
CPS	Cyber Physical System
I4.0	Indústria 4.0
IoMs	Internet de Manufatura
IoP	Internet de Pessoas
IoS	Internet of Service
IoT	Internet of Things
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
IVA	Impostos sobre Valor Acrescentado
ERP	Enterprise Resource Planning
UC	Unidades corporativas
VR	Virtual Reality





# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento Geral

Através do constante desenvolvimento de tecnologias inovadoras surgiu na Alemanha o conceito de Indústria 4.0, ou chamada quarta revolução industrial, consistindo na automação de processos produtivos, inclusão da digitalização na totalidade da cadeia de valor, fundindo o virtual com o real (Albertin et al., 2017).

O termo Indústria 4.0 foi exposto como “uma realidade em que as redes globais são estabelecidas pelas empresas sob a forma de Sistemas Físico-Cibernéticos (CPS - Cyber-Physical Systems) que incorporam máquinas, sistemas de armazenamento e instalações de produção, capazes de trocar informação e cooperar de forma autónoma através da Internet das Coisas (IoT - Internet of Things) desencadeando ações e controlando-se mutuamente de forma independente” (Kagermann et al., 2013).

O aumento da digitalização vai requerer que os trabalhadores das áreas envolvidas pela automatização desenvolvam competências que respondam aos requisitos impostos pelas secções produtivas para acompanharem os avanços tecnológicos (Aires et al., 2017).

Os requisitos do trabalho mudaram com a evolução dos sistemas de produção. Em cada revolução industrial o perfil exigido foi-se modificando do trabalho manual para o intelectual, facto este que exigiu uma maior preocupação das empresas com a formação de seus trabalhadores (Aires et al., 2017).

De acordo com informações obtidas do Eurostat em 2017 (Gabinete de Estatísticas da União Europeia), 40% dos trabalhadores europeus possuem nível insuficiente de aptidões digitais e a necessidade de novas capacidades digitais e multidisciplinares está a crescer rapidamente. Nos dias atuais o sector das tecnologias emprega milhões de pessoas, mas a UE estima que em 2020 existam cerca de 800 000 postos de trabalho por preencher.

Surgem neste contexto as “fábricas inteligentes” que precisarão de formar e adaptar os seus trabalhadores, para ajudá-los a permanecer, retornar ou incorporar-se no moderno processo de fabricação. O objetivo principal é identificar novos padrões de aprendizagem em cenários de trabalho industrial altamente digitalizados.

A adaptação dos trabalhadores a novas necessidades cognitivas resultará em desafios para as indústrias envolvidas, havendo a necessidade de investir e pesquisar novas formas de gerir o conhecimento na teoria e na prática, através de programas de formação e desenvolvimento que capacitem os trabalhadores no manuseamento de novas ferramentas e tecnologias.

## 1.2. Objetivos

A automação e as "máquinas inteligentes" estão a substituir as tarefas e o trabalho humano, assim como mudar as competências que as organizações estão a procurar nos seus colaboradores. Esta transformação tem alterado significativamente a forma como os operadores trabalham, surgindo mudanças significativas nos aspectos organizacionais e nas competências requeridas.

A presente dissertação apresenta o conceito da Indústria 4.0, as novas competências do trabalhador e as novas exigências ao nível organização de postos de trabalho, sendo cada temática explorada de forma abrangente. Para o novo trabalhador é necessário que sejam identificadas competências e habilidades que atendam aos requisitos exigidos pelos diferentes setores produtivos acompanhando os avanços desta nova revolução industrial.

De acordo com Senge (2012), para assegurar o almejado sucesso organizacional as empresas precisam continuamente de desenvolver competências individuais e institucionais, o investimento que gerará uma força de trabalho capaz de aprender e aplicar diariamente os novos conhecimentos, gerando contínuas melhorias e inovações e, por consequência, a desejada vantagem competitiva sustentável.

Assim, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para identificar as novas exigências cognitivas e organizacionais aplicadas à Indústria 4.0. Estas novas exigências envolvem a organização dos postos de trabalho, a compreensão das capacidades cognitivas, as novas ferramentas para acompanhar a evolução tecnológica, a colaboração entre trabalhadores e robôs (robôs colaborativos) e as ferramentas “*Human Machine Interface*” (HMI) para suporte das novas

funções. Foram analisados artigos, livros, relatórios e reportagens sobre os assuntos supracitados, as suas aplicações e potenciais implicações no setor industrial.

### **1.3. Metodologia**

De acordo com Gil (2010), existem quatro critérios diferentes para a classificação da investigação: a finalidade, a área de conhecimento, o objetivo geral e os métodos utilizados.

Na classificação da investigação de acordo com a sua finalidade, esta pode ser classificada de duas formas, a investigação básica, que tem como objetivo gerar novos conhecimentos, úteis para o avanço científico, e a investigação aplicada, que abrange estudos elaborados com a finalidade de solucionar problemas específicos (Gil, 2010). Nesta ótica, classifica-se a presente dissertação como um trabalho de investigação básica. A presente pesquisa, enquadra-se na área de conhecimento de engenharia.

Ao considerar o objetivo geral como critério para a classificação da pesquisa, Gil (2010) identifica três categorias distintas: exploratória, descritiva e explicativa. A investigação de caráter exploratório, no geral envolve uma revisão bibliográfica, entrevistas e análise de exemplos. Possui o objetivo de criar hipóteses e aumentar a familiaridade com o tema.

A investigação descritiva é direcionada para descrever características ou identificar possíveis relações entre variáveis. Segundo Triviños (1987), são usadas algumas técnicas de recolha de dados que podem ser subjetivas, o que exige do investigador uma análise crítica das informações, como por exemplo, questionários e entrevistas. O estudo de caso e análise documental são exemplos clássicos de investigação descritiva.

A investigação explicativa, de acordo com Gil (2010), identifica fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de fenómenos, tem a finalidade de explicar a razão de algo a partir dos resultados obtidos, sendo assim, é considerado o tipo mais complexo de investigação.

A partir da análise dos objetivos da presente investigação, que visa investigar as novas capacidades cognitivas e suas respectivas técnicas para lidar com elas, é possível classificá-la como uma investigação descritiva.

Na classificação da investigação de acordo com os métodos utilizados, Gil (2010) afirma que devem ser considerados três fatores, a natureza dos dados (investigação qualitativa e quantitativa), o ambiente em que são recolhidos (investigação de campo ou de laboratório) e o grau de controlo das variáveis (experimental e não experimental). Com base no exposto, a presente investigação é classificada como uma investigação de campo qualitativa e não experimental.

Em relação à descrição da situação-problema trata-se de investigação qualitativa, considerando que há uma relação dinâmica entre a vertente empírica e a vertente teórica. A interpretação dos fenómenos e a atribuição de significados são básicas no processo de investigação qualitativa. Os investigadores tendem a analisar os seus dados indutivamente.

Na junção das classificações, conclui-se que o presente estudo é uma investigação na área de engenharia, sendo básica e descritiva, com uma abordagem qualitativa.

## **1.4. Estrutura da Dissertação**

A dissertação está estruturada em cinco capítulos:

O capítulo 1 é introdutório, com o enquadramento do tema, descrição dos objetivos, a metodologia de investigação e a apresentação da sua estrutura.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica com o enquadramento teórico dos principais tópicos relacionados com a Indústria 4.0.

O capítulo 3 apresenta uma revisão bibliográfica com o enquadramento teórico dos principais tópicos relacionados com a capacidade cognitiva do trabalhador e competências necessárias para o trabalhador da Indústria 4.0.

O capítulo 4 aborda a organização dos postos de trabalho, novas ferramentas para acompanhar esta evolução, colaboração entre trabalhadores e robôs (robôs colaborativos) e ferramentas HMI para suporte das novas funções.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões e as recomendações para pesquisas futuras.

A Figura 1 apresenta um esquema da estrutura da investigação realizada nesta dissertação.

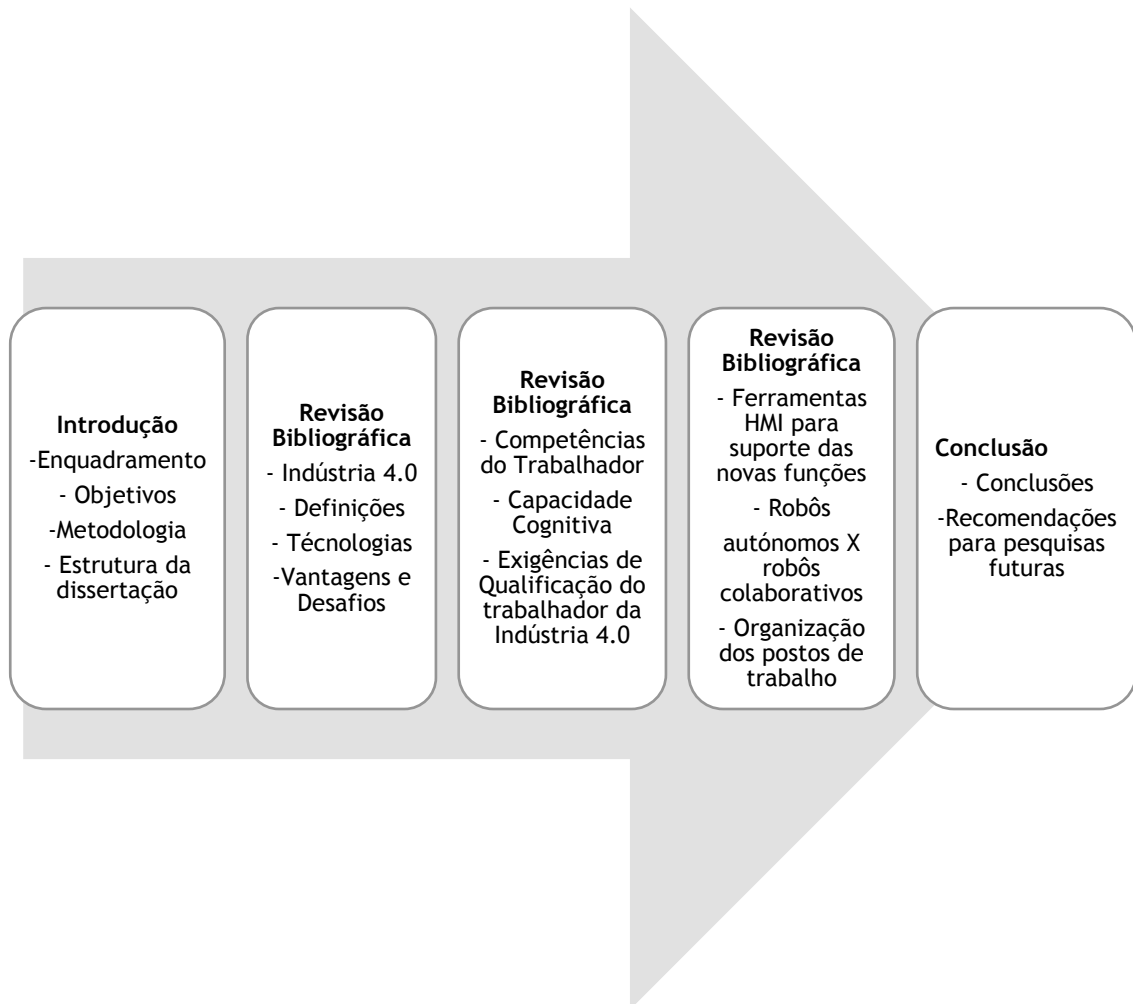


Figura 1. Estrutura da Dissertação

## 2. Indústria 4.0

### 2.1. Definição

A quarta revolução industrial, também denominada de Indústria 4.0, fábricas inteligentes ou produção avançada, iniciou-se na primeira década do século XXI. Particularizou-se pela digitalização, a qual possibilitou a personalização da produção em massa caracterizada pela internet global e móvel, sensores mais pequenos e mais poderosos e a inteligência artificial, com intensas alterações na forma de produção e de consumo, provocando o desenvolvimento de novos modelos de negócios (Deloitte (2014); Mckinsey (2016); Schwab (2016)).

A busca pela automação da indústria começou em 1970, e atualmente tornou-se requisito essencial para toda empresa que quer ser competitiva no mercado. Nesse cenário, a Indústria 4.0 une a automação com a conectividade, integrando equipamentos aos sistemas de informações, tornando-os capazes de tomar decisões e encontrar soluções em tempo real (Macdougall, 2014).

A definição de Indústria 4.0 (I4.0) é procedente do crescimento da informatização nos meios de produção, na qual as estruturas físicas estão constantemente mais integradas com as redes de informação digital, permitindo a integração de um grande número de sistemas em todos os níveis de produção, o que possibilita encontrar soluções com a menor quantidade de operações possíveis (Maslarić et al., 2016).

O diferencial deste conceito é o facto do processo de fabricação evoluir de uma única célula automatizada para sistemas totalmente automatizados e integrados que comunicam entre si, possibilitando uma maior flexibilidade, velocidade, produtividade e qualidade dos sistemas produtivos (Hofmann & Rüsç, 2017).

As principais particularidades dessa nova revolução estão relacionadas com a capacidade de permitir que pessoas e “fábricas inteligentes” sejam capazes de se conectar e trocar informações através da Internet das Coisas (IoT) e da Internet dos Serviços (IoS), a possibilidade de ligar sistemas físicos com modelos virtuais ou ciber-físicos, a descentralização das tomadas de decisões.

De acordo com Carmona (2017) uma das maiores consequências da implementação da digitalização está diretamente relacionada com o aumento da eficiência ou produtividade dos processos de produção. A possibilidade de monitorizar de forma mais automatizada possível todo o processo, permite à empresa alocar de um modo muito mais eficiente seus recursos, identificando e corrigindo os gargalos.

Segundo Coelho (2016) o objetivo da Indústria 4.0 é o surgimento da produção digital, também designada de fábrica “inteligente” ou smart factory, onde as fábricas serão muito mais inteligentes, flexíveis, dinâmicas e ágeis. A “Smart factory” pode ser entendida como uma fábrica que produz produtos inteligentes utilizando equipamentos inteligentes, em cadeias de abastecimento inteligente.

De acordo com Vaidy et al. (2018) o paradigma da Indústria 4.0 é delineado em três conceitos de integração: integração vertical dos sistemas de produção; integração horizontal na cadeia de valor e a engenharia por toda a cadeia de valor do produto.

A integração vertical possibilita que todos os níveis da fábrica estejam ligados, desde o chão de fábrica até a alta gestão. Segundo Freitas (2016), esta integração permite uma rápida resposta às variações da procura e de níveis de *stocks*. Situações como, pedidos modificados, alterações na qualidade, paragem de máquinas ou degradação de ferramentas de trabalho podem ser resolvidas de uma forma rápida. Além disto os recursos e os produtos estão relacionados podendo ser disponibilizados em qualquer momento.

A integração horizontal está relacionada a conexão entre a fábrica e a cadeia de valor externa. Segundo Porter (1989) a cadeia de valor é definida como um conjunto de atividades e operações, de modo a criar valor desde as matérias-primas até o produto ou serviço final. Segundo Freitas (2016) é possível a integração de informações desde o aprovisionamento, armazenamento, produção, marketing e vendas, até a expedição, assegurando a transparência e a flexibilidade em toda a cadeia produtiva, desde o fornecedor, passando pela produção, até ao cliente final.

A Engenharia por toda cadeia de valor é a ligação entre a cadeia de valor e o ciclo de vida dos produtos e consumidores. As informações estão disponíveis em todos os estágios do ciclo de vida do produto, possibilitando novos e flexíveis processos (Freitas, 2016). De acordo com o European Commission (2016) os progressos da engenharia ao longo da cadeia de valor são alcançados através

de métodos avançados de comunicação e virtualização, que deverá resultar em significativo potencial de otimização.

De acordo com Tropia et al. (2017) a Indústria 4.0 ou a quarta revolução industrial foi antecedida por outras três revoluções industriais na história. A primeira revolução industrial ocorreu na segunda metade do século XVIII, sendo intensificada no século XIX e nasceu com a introdução de facilidades mecânicas na produção.

A partir de 1870, com a utilização da eletricidade e da divisão do trabalho na indústria iniciou-se a segunda revolução. A terceira revolução, também chamada de “revolução digital”, teve o seu início em 1970, quando se desenvolveram técnicas avançadas de eletrônica e de tecnologia da informação para a automação dos processos de produção. Dos anos 90 em diante, ocorreu um incremento de princípios mecânicos, elétricos e eletrônicos para inteligência artificial no contexto de fábrica, dando origem à quarta revolução industrial (ver Figura 2).

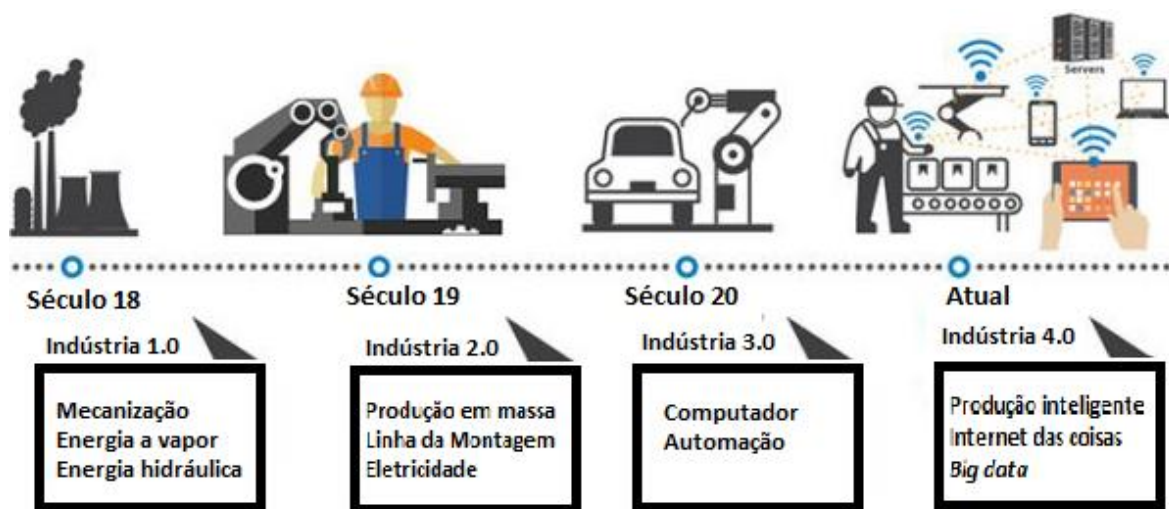


Figura 2. As Revoluções Industriais (Elaborado de acordo com BCM Advanced Research)

## 2.2. Tecnologias

Para Vaidya et al. (2018) as tecnologias da Indústria 4.0 transformam a produção de células isoladas numa produção totalmente integrada, automatizada e com fluxo otimizado. Como consequência ocorre um aumento da eficiência e uma mudança nas relações tradicionais de

produção entre fornecedores, produtores e clientes, assim como entre o ser humano e as máquinas.

De acordo com Santos et al. (2017) as novas conquistas nas tecnologias de informação e comunicação estão a influenciar rapidamente os vários setores industriais. Com o avanço da internet, dados em tempo real e informações abrangentes estão a mudar os paradigmas nas indústrias. No entanto, esta rápida evolução requer uma compreensão e definição adequadas por parte dos seus utilizadores com o objetivo de aperfeiçoar a prática e a disseminação do conhecimento.

As tecnologias de comunicação facilitam os sistemas de produção em rede, implicando sistemas interoperáveis, intercâmbio de informações, controlo descentralizado e a tomada de decisões (Lee et al. 2015). Segundo informações da Comissão Europeia (2013) espera-se que a Indústria 4.0 tenha um impacto em cinco áreas-chave: Transportes, Energia, Bem-Estar, Indústria e Infra-estrutura. A multiplicidade de tecnologias e a sua integração é característica do conceito de Indústria 4.0.

O rápido desenvolvimento da tecnologia de informação e comunicação (TIC) trouxe muitas tecnologias disruptivas, como a computação em nuvem, a Internet das coisas (IoT) e o *big data*. A fusão destas tecnologias e a fabricação de última geração integra o mundo físico e virtual através dos Sistemas Ciber-Físicos (CPS), que marca o advento da quarta etapa da produção industrial (Zheng, 2018).

De acordo com Zheng (2018) as tecnologias estão a ser integradas na fabricação e a servir como facilitadoras da indústria para enfrentar os desafios atuais, utilizando requisitos cada vez mais personalizados, maior qualidade e menor tempo. Além disso, permitem capturar e compartilhar dados da produção em tempo real, que podem ser usados para a tomada de decisões.

Os limites entre o mundo real e o mundo virtual estão cada vez mais subtis, na Figura 3 são apresentadas algumas tecnologias que podem ser aplicadas às várias etapas do processo industrial na Indústria 4.0, com o objetivo de atingir a transformação digital, sendo detalhadas algumas destas nos próximos capítulos desta dissertação.



Figura 3. Tecnologias da Indústria 4.0 (Consultoria rsi redes - n.d.)

### 2.2.1. Internet of Things (IoT)

De acordo com Ribeiro (2017), a *Internet of Things* (Internet das Coisas - IoT) é a ligação em rede de objetos físicos, ambientes, veículos e máquinas através de dispositivos eletrônicos possibilitando a recolha e troca de dados. Os sistemas que funcionam à base da Internet das Coisas são denominados de sistemas cyber-físicos e são a base da Indústria 4.0.

A IoT é representada por uma rede mundial de objetos endereçados, interligados e uniformes que comunicam através de protocolos padrão (Hozdić, 2015). A internet das coisas é conhecida como a Internet de tudo (IoE), a qual é constituída pela Internet de Serviços (IoS), pela Internet de Manufatura (IoMs) e pela Internet de Pessoas (IoP), constituindo um sistema integrado da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC).

Segundo Witkowski (2017), o contexto, a omnipresença e a otimização são as principais características da IoT. O contexto refere-se à possibilidade de interação de objetos com um ambiente existente e com resposta imediata, caso haja alguma alteração. A omnipresença disponibiliza as informações de localização, as condições físicas ou atmosféricas de um objeto,

e por fim a otimização é mais do que apenas a ligação à rede de operadores humanos na interface homem-máquina.

### 2.2.2. Cyber Physical Systems (CPS)

No contexto da Indústria 4.0, os CPS são definidos como sistemas nos quais os sistemas naturais e os espaços físicos estão fortemente integrados nos sistemas de computação, comunicação e controlo (espaço cibernético). Através da sensorização de toda a fábrica, os CPS criam uma cópia virtual do mundo real permitindo uma verdadeira rede de objetos e dispositivos “inteligentes” que comunicam e interagem entre si (Lee, 2018).

Para Landherr et al. (2016) a forte ligação entre o mundo físico, os serviços e o mundo digital pode melhorar a qualidade das informações necessárias para o planeamento, a otimização e a operação dos sistemas de produção. A descentralização e o comportamento autónomo do processo de produção são algumas das principais características do CPS.

Os cyber physical systems são definidos de acordo com Pontes (2017) como a integração entre a computação e os processos físicos. Os computadores e as redes integradas monitorizam e controlam os processos físicos, geralmente com *loops* de *feedback* onde os processos físicos afetam os cálculos e vice-versa.

São sistemas automatizados que possibilitam a ligação das operações da realidade física com as infraestruturas computacionais e comunicacionais (Jazdi, 2014). Consistem em tecnologias transformativas para gerir sistemas interligados. O uso crescente de sensores e máquinas interligadas resultam na geração contínua de um elevado volume de dados (Big Data).

O termo CPS foi usado pela primeira vez pela National Science Foundation (NSF) nos Estados Unidos por volta de 2006 (Wolf, 2009), que o descreveu como um sistema de engenharia física que colaborava fortemente com componentes “cibernéticos” - aqueles que podem compilar, comunicar e controlar - com o mundo físico, oferecendo uma ampla gama de serviços.

### 2.2.3. Big Data e Analytics

A análise baseada em grandes conjuntos de dados surgiu recentemente no mundo da manufatura, otimizando a qualidade da produção, gerando economia de energia e melhorando o serviço dos equipamentos. No contexto da Indústria 4.0, a recolha e avaliação abrangente de dados de diferentes fontes de equipamentos e sistemas de produção, bem como sistemas de gestão de clientes e empresas tornar-se-à o padrão para apoiar a tomada de decisões em tempo real (Rüßmann et al., 2015).

De acordo com Ma, et al. (2017) num dado sistema de produção os dados podem ser recolhidos a partir de diversas fontes e através de diferentes níveis de sistemas de produção. Essas fontes incluem variados tipos de recursos como, por exemplo, sensores, atuadores e controladores, bem como sistemas de gestão de informação, como por exemplo, o Manufacturing Execution Systems (MES) e o Enterprise Resource Planning (ERP).

O grande desafio é garantir que os utilizadores obtenham o máximo valor dos dados, de forma a aumentar a probabilidade de tomar as decisões certas. Segundo Rüßmann, et al. (2015) o *Big Data Analytics* serve-se de um conjunto de informações reunidas, de forma dinâmica para a tomada de decisões (estudo de mercado, informações de mercado, correlações desconhecidas). O seu principal objetivo é ajudar as empresas a tomar as medidas assertivas nas horas adequadas. O cyber-physical system (CPS) pode ser desenvolvido para gerir o *Big Data* e alavancar a interconectividade das máquinas para alcançar os objetivos de máquinas “inteligentes”, resilientes e auto adaptáveis.

### 2.2.4. Linha de Produção Flexível

As tendências recentes, como a globalização dos mercados e as pressões de atender às necessidades dos clientes, exigem equipamentos e processos de produção que sejam capazes de se adaptar de forma mais ágil e flexível a novos produtos e variantes de produtos para ganhar força competitiva.

Para Freitas (2016) a utilização de robôs expressa um aumento na variedade de produtos que podem ser produzidos numa mesma fábrica. Esta customização em massa vai permitir a produção

em pequenos lotes, devido à habilidade de configuração das máquinas de acordo com as especificações ou exigências do fornecedor/consumidor. Esta flexibilização também permite a inovação, visto que os protótipos ou novos produtos podem ser produzidos rapidamente sem necessidade de novos *setups* ou novas linhas de produção.

## 2.2.5. Manufatura Aditiva

A Manufatura Aditiva faz parte de um grupo de tecnologias, de entre as quais se destaca a *impressão 3D*, que cria produtos através da adição de materiais, camada a camada, em vez de processos de maquinagem. Assim, proporcionam novas funcionalidades para suprir soluções na fabricação de pequenos lotes de produtos complexos e personalizados, sem que os custos de produção aumentem exponencialmente. Além disso, permite encurtar o ciclo de desenvolvimento do produto até ao seu lançamento no mercado e reduzir os desperdícios, resultando em processos mais eficientes (Cotteleer et al., 2014).

Segundo Venâncio (2017) a impressão 3D, elimina os pontos negativos de se conceberem produtos individuais customizados, o que proporciona um diferencial considerável no mercado, mas tem muito impacto na eficiência. A prototipagem rápida somado ao processo de produção descentralizado gerado pela impressão 3D, onde um modelo de desenho pode ser impresso em qualquer lugar do mundo enviando o seu ficheiro digital pela rede, elimina passos intermediários de produção tais como o transporte e o armazenamento, elevando drasticamente os níveis de eficiência dentro de uma empresa.

Segundo Chen (2017) este modelo de tecnologia possui inúmeras aplicações: produção de protótipos, maquetes, peças de substituição, membros artificiais, entre outras. Na indústria o produto consegue ser fabricado desde que a ordem de produção chega, excluindo a necessidade de *stocks* e ampliando a logística.

De acordo com estudos realizados pela consultoria Deloitte (2014) existem ainda dificuldades na implementação da impressão 3D, tais como: a imprecisão, o custo elevado e as limitações dos componentes que podem ser impressos. Também existem obstáculos relacionados com a propriedade intelectual, a responsabilidade do produto, os direitos aduaneiros e os impostos sobre valor acrescentado (IVA).

## 2.2.6. Cloud

O aumento da partilha de informação em rede para o desenvolvimento de um produto implica o recurso a aplicações e partilha de dados para além dos servidores da empresa. O recurso à “*Cloud*” fornece uma grande redução de tempo conseguindo-se informação ao milissegundo com ganhos na eficiência e na diminuição de custos.

Para Obtiko & Jirkovsky (2015) os dados das empresas não deverão ser armazenados e processados somente nos servidores locais, mas sim utilizando serviços especializados em armazenamento e processamento de dados na *Cloud*, que é um universo virtual no qual os serviços são oferecidos tendo a internet como ambiente de trabalho.

O National Institute of Standards and Technology dos Estados Unidos (NIST) divulgou em 2011 um documento onde são definidos alguns conceitos referentes à *Cloud*, no qual cinco propriedades foram realçadas:

- Disponibiliza o serviço sob procura do consumidor sem a necessidade da intervenção de um operador humano;
- Os recursos de armazenamento, processamento e memória devem ser agrupados para servir a múltiplos consumidores;
- Possui aplicações que podem ser acedidas a qualquer momento através de mecanismos padrão de acesso à rede (telemóvel, *tablet*, entre outros);
- Os serviços devem possuir flexibilidade, ou seja, podem ser alterados pelo consumidor para atender às suas necessidades transmitindo a impressão de que os serviços possuem capacidade infinita;
- O uso de recursos deve ser monitorizado pelo fornecedor para que os serviços sejam distribuídos de forma a atender os consumidores de forma efetiva.

## 2.2.7. Robótica

De acordo com o World Robotic Survey de 2016, emitido pela International Federation of Robotics (IFR), os robôs industriais estão a inovar a economia global e até 2019, mais de 1,4 milhões de novos robôs industriais serão colocados em fábricas em todo o mundo.

Estes robôs ajudam a enfrentar o desafio da produção de curto prazo, ultrapassando a lacuna existente entre as linhas de montagem totalmente manuais e as linhas de fabricação totalmente automatizadas. Como exemplo recente a BMW está a implementar robôs autônomos com a finalidade de automatizar uma linha de montagem que era maioritariamente manual no passado.

Ribeiro (2017) afirma que a evolução da robótica permitiu que ocorressem trabalhos sem a supervisão humana sendo os robôs utilizados nos contextos industriais na realização de tarefas mais complexas, desenvolvendo e coordenando uma série de atividades logísticas e de produção.

Rüßmann et al. (2015) cita a empresa europeia Kuka, fabricante de equipamentos robóticos que oferece robôs autônomos os quais interagem uns com os outros. Esses robôs estão interligados para que possam trabalhar juntos e ajustar automaticamente as suas ações para se adequarem ao próximo produto inacabado em linha. Os sensores e as unidades de controlo permitem uma colaboração próxima com humanos.

## 2.3. Vantagens e Desafios

De acordo com Duarte (1997) a incorporação de melhores práticas de funcionamento e novas estratégias de inovação nos ambientes industriais impulsionam o desenvolvimento industrial de um determinado território e agregam vantagem competitiva perante as demais.

Ribeiro (2017) aponta como vantagens da integração de novas tecnologias no contexto da Indústria 4.0:

- Customização em massa que possibilita aumentar a flexibilidade na produção, rápida prototipagem e criação de novos produtos;
- Maior velocidade de produção gerando assim uma entrada mais rápida destes no mercado;
- Modelos de negócios que apostam no design customizado e na qualidade dos produtos;
- Aumento da qualidade dos produtos como resultado da diminuição dos erros. A monitorização dos processos poderá permitir identificar e corrigir os erros durante a produção;
- Modelos de negócios que visam obter um design customizado e qualidade dos produtos;
- Deslocação da indústria para os centros urbanos com o objetivo de ficar mais próximo dos consumidores, reduzindo ou evitando custos de transporte.

De acordo com o autor supracitado, o conceito de produção para Indústria 4.0 caracteriza-se por produções pequenas, descentralizadas e digitalizadas, possibilitando um maior controlo de todas as operações e se necessário a realização de mudanças no processo. Os materiais e os produtos obtidos podem ser localizados em qualquer etapa do processo.

Segundo Nadais (2017), a integração tecnológica da indústria possibilita o alcance constante de informações relacionadas com os níveis de *stock*, problemas ou falhas, alterações nas ordens de produção, cooperando para que as máquinas e os produtos atuem com cada vez menor intervenção manual. Freitas et al. (2016) explica detalhadamente as vantagens da implementação da Indústria 4.0 conforme Tabela 1.

Tabela 1. Vantagens da Indústria 4.0 (Adaptado de Freitas et al., 2016)

Vantagem	Descrição
Flexibilização na produção	A utilização de robôs representa um aumento na variedade de produtos que podem ser produzidos numa fábrica. A flexibilização permite a inovação devido aos novos produtos serem produzidos rapidamente sem necessidade de novos setups ou novas linhas de produção.
Customização em massa	Os consumidores poderão enviar recomendações para modificar os produtos os quais poderão ser rapidamente produzidos e com baixos custos. A customização em massa possibilita a produção em pequenos lotes, devido à capacidade de configuração das máquinas de acordo com as especificações do fornecedor/consumidor
Aumento de velocidade	A modelação virtual dos processos de produção pode reduzir o tempo entre o <i>design</i> , a produção e a entrega.
Melhoria da qualidade	Os sensores podem monitorizar a qualidade de cada peça produzida em vez da utilização do método de amostragem para determinar a qualidade do produto. Isto permite que a máquina se ajuste em tempo real para corrigir erros que podem gerar produtos defeituosos. O aumento da qualidade do produto irá refletir-se numa redução significativa de desperdícios e resíduos.
Aumento da produtividade	Pela utilização de sistemas analíticos avançados, é possível preparar programas de manutenção preventiva, evitando falhas no chão de fábrica e reduzindo o tempo de paragem até 50%. Os operários poderão focar os seus esforços em funções de gestão e inovação. A produção da fábrica da Philips na Holanda é garantida por 128 robôs e nove trabalhadores.

Apesar da globalização oferecer grandes oportunidades, como o aumento da demanda mundial, melhores condições de aquisição e de produção, ela gera também alguns desafios para a indústria. Por exemplo, as organizações devem aumentar com frequência a sua produtividade e a flexibilidade, comercializar novos produtos e, ainda aumentar os níveis de desempenho e eficiência em ciclos cada vez menores, para suportar o aumento da concorrência global (Russwurm, 2014).

Para Ribeiro (2017) a questão do investimento e o correspondente retorno financeiro representam um desafio no cenário da Indústria 4.0, devendo ser avaliadas questões relacionadas com o

tamanho da empresa, com o seu volume de negócios e com as oportunidades que permitem rentabilizar o esforço de adaptação à nova realidade industrial. As decisões devem ser adequadas às possibilidades e deve ser feita uma análise do que deve ser investido, tendo em vista um crescimento gradual e racionalmente planeado. É necessário um investimento inicial muito elevado para implementar os novos sistemas produtivos nas empresas. Neste âmbito as PME enfrentarão um desafio muito maior.

Outro desafio está relacionado com a questão da necessidade de criar conhecimento. Nonaka, et al. (2006) referem-se ao processo de ligar o conhecimento individual com o sistema de conhecimento organizacional. Já para o autor Kimiz (2005), o desafio maior e mais complexo está relacionado com as pessoas, sendo estas elementos críticos neste processo, pois é necessária uma gestão do conhecimento. A gestão do conhecimento é o processo de gestão que se inicia com a identificação dos objetivos estratégicos da organização, passando pelas práticas para identificar, desenvolver, capturar e disseminar o conhecimento útil.

Outro desafio significativo que surge no cenário da implementação da Indústria 4.0 está relacionado com a segurança, no que tange a partilha de informações, a segurança de informações e comunicações, a operabilidade e a proteção da propriedade intelectual.

Através do aumento da partilha de informações ligadas à rede, as ameaças relacionadas com a segurança de dados agravam-se. No cenário da Indústria 4.0 é importante que a proteção de dados seja assegurada, garantindo a privacidade dos clientes e funcionários (no caso de processamento de dados pessoais) e confidencialidade (no caso de processamento de dados secretos comerciais). Se os dados não estiverem adequadamente protegidos as empresas poderão ser confrontadas com processos judiciais e, em última análise, com multas elevadas. Além disso, a violação de dados pode levar à perda ou diminuição da confiança dos consumidores.

Existe uma enorme necessidade de proteger os sistemas industriais críticos e as linhas de fabricação de ameaças à sua segurança cibernética. Como consequência, é importante gerar comunicações seguras e confiáveis, assim como uma gestão sofisticada da identidade e acesso às máquinas.

Segundo Barreto et al. (2017), o acesso de terceiros significa que toda uma nova gama de questões de segurança surge nesse contexto. A segurança é fundamental para o sucesso de

sistemas de fabricação inteligentes. É importante garantir a proteção das infraestruturas corporativas como os dados e informações contidos nos seus sistemas contra uso indevido e o acesso não autorizado.

O aspecto da operabilidade está relacionado com a ligação dos processos e das máquinas. Como exemplo do risco existente pode ser citado a ocorrência de um ataque informático à rede de uma empresa, podendo levar a uma enorme perda de dados, uma vez que potencialmente todas as máquinas que operam ligadas à rede podem ser infectadas e o funcionamento interrompido. Assim, a segurança de dados não é importante somente para garantir a proteção da privacidade e a propriedade intelectual, mas também para a operacionalidade da empresa.

Designa-se por propriedade intelectual “o conjunto de todas as criações do espírito humano, tais como invenções e todo o tipo de soluções técnicas, sinais distintivos, criações estéticas ou obras artísticas e literárias. A propriedade Intelectual opera uma tradicional divisão quanto ao âmbito de criações a tutelar. Assim, dentro deste conceito geral, encontramos os Direitos de Propriedade Industrial, por um lado e o Direito de Autor e os Direitos Conexos, por outro.” (Instituto Pedro Nunes, 2011).

De acordo com Vaidya et al. (2018) outros desafios podem ser citados:

- **Mecanismo Inteligente de Tomada de Decisões e Negociação:** enquanto os sistemas de produção atuais possuem menor autonomia, o sistema de produção inteligente necessita de maior independência pois é um sistema auto-organizado para a tomada de decisões;
- **Protocolos de redes sem fio de alta velocidade:** A rede utilizada atualmente não fornece banda larga suficiente para a comunicação intensa com transferência de grandes volumes de dados;
- **Big Data e Análise Específica da Produção:** É um desafio garantir a alta qualidade e a integridade dos dados registados nos sistemas produtivos. Os dados são muito diversificados e é um grande desafio incorporar os diversos repositórios de dados com diferentes semânticas para efetuar uma análise avançada de dados.
- **Modelagem e Análise de Sistemas:** Na modelagem de sistemas, para reduzir as equações dinâmicas e concluir o modelo de controlo apropriado, os sistemas devem ser modelados como sistemas de produção auto-organizados. A investigação sobre sistemas complexos ainda está em desenvolvimento.

## 3. Competências do Trabalhador

### 3.1. Capacidade Cognitiva

O trabalhador ressurge como a personagem fundamental no cenário da indústria 4.0, mesmo com o risco gerado pela automatização das máquinas. O novo perfil exigirá capacidades cognitivas que vão englobar capacidades técnicas e humanas. Ele terá que processar informações, recorrendo a recursos tecnológicos, a fim de aplicar o conhecimento resultante deste processo na sua rotina de trabalho.

De acordo com Sales & Burnham (2015), a cognição é a capacidade humana de construção ativa do conhecimento que acontece no processo de interação com o outro, considerando o meio, a história, a cultura, as relações, a percepção, os sentimentos e as emoções, onde os símbolos construídos culturalmente, em especial a linguagem, atuam como mediadores do próprio processo de construção do conhecimento e da capacidade de pensar própria do ser humano.

Segundo com Gatti (2005), as habilidades cognitivas são capacidades que tornam o indivíduo competente e lhe possibilitam interagir simbolicamente com seu meio ambiente. Estas habilidades formam a estrutura fundamental do ser humano permitindo discriminar entre objetos, factos ou estímulos, identificar e classificar conceitos, identificar e construir problemas, aplicar regras e resolver problemas.

Medeiros (2017) cita três grupos de competências cognitivas:

- Processos cognitivos e estratégias, tendo como principais aspectos: pensamento crítico, resolução de problemas, análise, raciocínio/argumentação, interpretação, tomada de decisão e aprendizagem;
- Conhecimento, tendo como principais aspectos: alfabetização em informação (investigação usando evidências e reconhecendo fontes confiáveis), alfabetização em tecnologia da informação e das comunicações, comunicação oral e escrita e escuta ativa;
- Criatividade e inovação.

De acordo com Romero et al. (2016) a capacidade cognitiva é a capacidade do operador realizar tarefas (por exemplo, percepção, memória, raciocínio, decisão, resposta motora, etc.) necessárias para o trabalho e sob certas configurações operacionais.

Como as fábricas da Indústria 4.0 serão ambientes de trabalho cada vez mais dinâmicos devido ao aumento da necessidade de flexibilidade e adaptabilidade dos sistemas de produção, haverá uma exigência cognitiva para que o operador consiga executar essas tarefas mentais, como aquelas fornecidas por tecnologias de realidade aumentada (AR) ou interfaces homem-máquina (HMI).

Assim a capacidade cognitiva é o mecanismo que o trabalhador utiliza para entender, assimilar, relacionar e ligar-se com o exterior e o seu interior, desenvolvendo a habilidade mental para adquirir conhecimentos, ideias, experiências e interpretá-los. Desenvolver competências cognitivas na Indústria 4.0 é fundamental para o processo de formação de conhecimento e capacitação para o cumprimento de tarefas.

O desenvolvimento de habilidades cognitivas tem como base os processos de aprendizagem, os quais se evidenciam por mudanças relativamente permanentes nos conhecimentos ou comportamentos e ações das pessoas, mudanças estas devido à experiência, ou seja, às relações sociais e objetivas que os indivíduos experimentam na sua história de vida (Medeiros, 2017).

O processo de aprendizagem, que segundo Schuh et al. (2015), é influenciado por três fatores: características do produto com o qual se trabalha, conhecimento sobre o processo industrial e aptidões pessoais para adquirir informação. Sendo este o primeiro nível de influência. Os aspectos técnicos e organizacionais, tais como a disposição de ferramentas, o idioma dos manuais, a quantidade de peças de um produto e a sua complexidade são capazes de interferir nos elementos do primeiro nível de forma a facilitar ou a dificultar a aprendizagem.

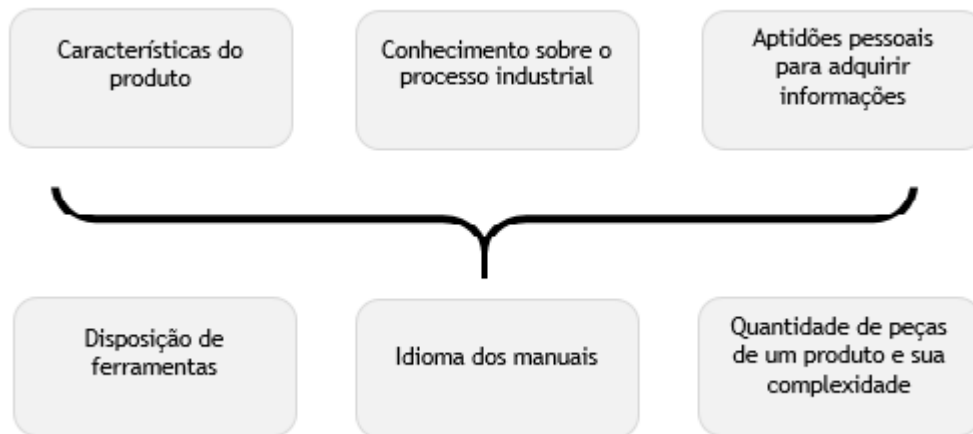


Figura 4. Fatores influenciadores no processo de aprendizagem (elaborado pela autora com base em Schun 2015)

Schuh et al. (2015) também destacam, alguns fatores que podem influenciar a capacidade de aprendizagem tais como: o escopo da tarefa, as relações de poder entre o trabalhador e os demais cargos e o nível de qualificação deste trabalhador.

De acordo com o referido anteriormente, pode-se complementar com um estudo realizado pela revista Exame (2016), foram descritas algumas competências gerais que englobam o desenvolvimento da capacidade cognitiva e são importantes tendo em vista o que já foi abordado do cenário e exigências da Indústria 4.0:

- Visão Técnica- Formação académica em áreas como a engenharia informática ou automação, entender as tecnologias utilizadas na indústria e a internet das coisas será um diferencial;
- Multidisciplinaridade - Ter um conhecimento mais diversificado e ser especializado em diversas áreas será um diferencial. É preciso entender sobre várias áreas para dominar o processo industrial;
- Colaboração - Capacidade de comunicar e de ter um bom relacionamento profissional com os outros trabalhadores ajudando-os na resolução de problemas ou a atingirem um objetivo. Está relacionada com a contribuição de ideias e conteúdos e a partilha de conhecimentos;
- Idioma - é essencial para a comunicação com outros países no sentido de troca de informações, realizações de treinos externos e participação em cursos de actualização;
- Espírito Crítico - Está relacionado com a capacidade analítica de interligar dados e tomar decisões a partir de informações extraídas de máquinas e aplicativos em tempo real;

- Flexibilidade - Capacidade de adaptação a mudanças, a novas funções e a inovações.

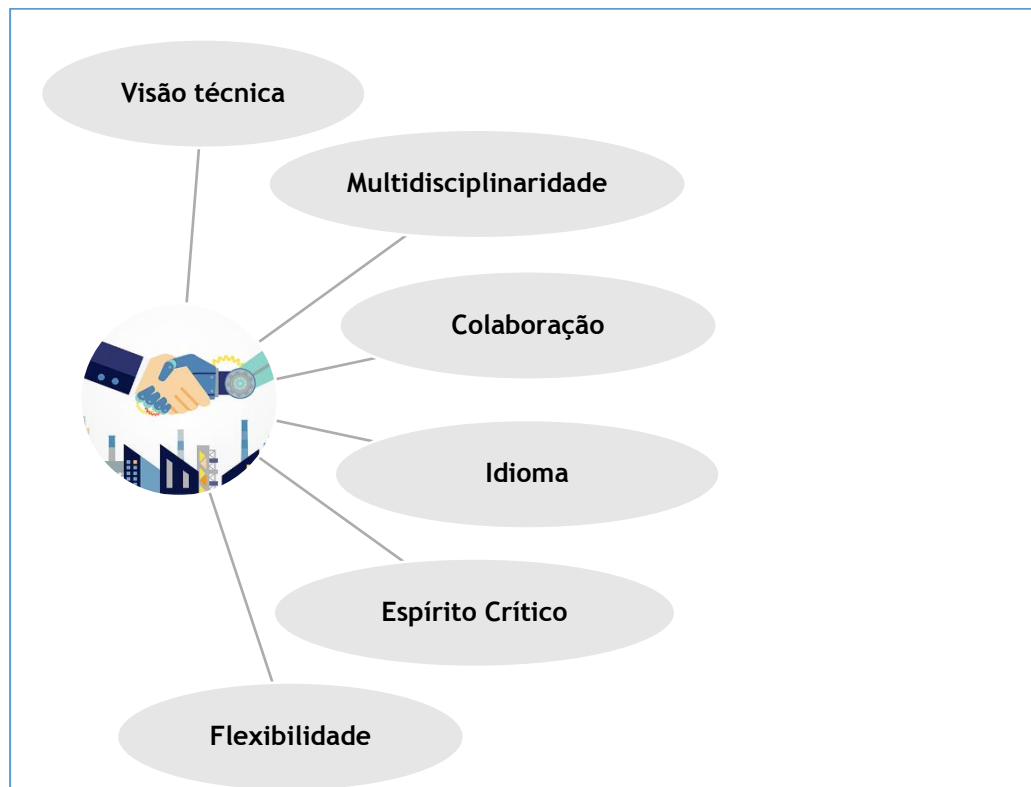


Figura 5. Competências profissionais para a Indústria 4.0 (Elaborado pela autora com base na revista Exame (2016))

Num relatório do World Economic Forum (2016), são especificadas importantes habilidades que envolvem a capacidade cognitiva, tais como, a flexibilidade cognitiva, a criatividade e o raciocínio matemático. Refere-se ainda a outras importantes habilidades físicas importantes para os trabalhadores, como a força física e a destreza manual, e por fim também referem as competências de conteúdo como a aprendizagem ativa, a expressão oral, a compreensão de leitura e a expressão crítica.

Um novo conceito relacionado ao assunto é a computação cognitiva referida por Hamm et al. (2013), que visa reproduzir habilidades humanas através da construção de modelos artificiais e algoritmos computacionais, que resolveriam situações relacionadas ao desempenho de tarefas operacionais e processos de tomada de decisão. Do ponto de vista da computação cognitiva, os modelos artificiais e os algoritmos computacionais assemelham-se à capacidade de aprendizagem humana e reproduzem habilidades humanas.

## 3.2 As Exigências da Qualificação do Trabalhador da Indústria 4.0

Com a modernização dos sistemas de produção que será gerada pela Indústria 4.0, o tempo e os custos de produção tendem a diminuir, além disso as máquinas antigas serão substituídas por modelos mais modernos e com tecnologias mais complexas. Para atender a este novo cenário surgirá a procura de novas competências antes dispensáveis ao trabalhador.

A perspectiva do trabalho mudou com a evolução dos sistemas de produção. A cada revolução industrial o perfil exigido aos trabalhadores foi-se alterando, passando do trabalho manual para o intelectual (Aires et al., 2017), o que obrigou as empresas a terem uma maior responsabilidade com a formação de seus trabalhadores.

De acordo com Romero (2016) a evolução da integração de operadores com as tecnologias da época pode ser descrita da seguinte forma:

- Operador 1.0 - definido como trabalhador que conduz manualmente e de forma habilidosa o trabalho, com suporte de ferramentas mecânicas e ferramentas manuais
- Operador 2.0 - definido como trabalhador que realiza “trabalho assistido” com o suporte de ferramentas de computador, da tecnologia de informação e comunicação para auxiliar na concepção, análise e fabrico da maioria dos produtos. Utiliza também sistemas de informação empresarial
- Operador 3.0 - definido como trabalhador envolvido no 'trabalho cooperativo' com robôs e outras máquinas e ferramentas de computador, também conhecidas como - colaboração homem-robô.
- Operador 4.0 - definido como o “operador do futuro”, sendo inteligente e qualificado. Representa uma nova filosofia de design e engenharia para sistemas de produção adaptáveis onde o foco é o tratamento da automação como um aprimoramento adicional de aspectos físicos, sensoriais e capacidades cognitivas por meio da integração do sistema cyber físico humano.

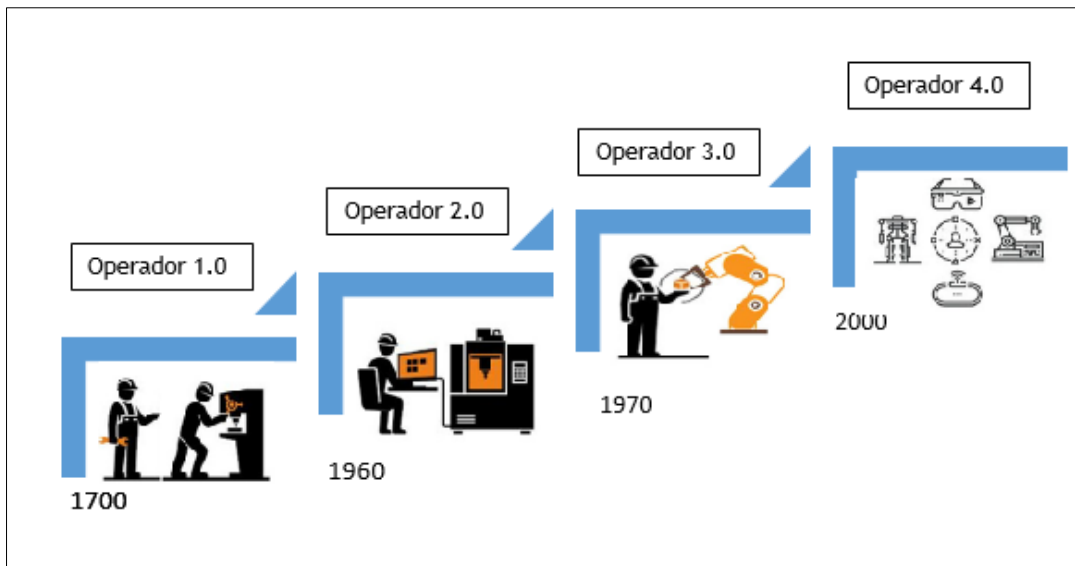


Figura 6. Cronologia da evolução dos operadores (Adaptado de Romero et al., 2016)

A quantidade de trabalhadores que têm a qualificação necessária para responder às necessidades do mercado não acompanha o ritmo de crescimento e avanço da indústria. De acordo com o U.S Department of Education, apenas 20% da força de trabalho atual possui as habilitações necessárias para atender à procura dos 60% de novos empregos que irão surgir no Século XXI (Amladi, 2013).

Schwab (2016) afirma que à medida que a digitalização e automação da produção se for consolidando haverá uma deslocação física dos trabalhadores em relação às tecnologias usadas no processo de produção. O autor realça que no futuro, o talento da força de trabalho irá sobressair em relação ao capital, representando um fator crítico de produção.

Na Indústria 4.0, a forma de aprendizagem transformou-se devido ao trabalho mais especializado e a um menor número de funcionários para o desempenhar. Segundo Tvenge & Martinsen (2018) muitos autores realçam o facto de que a aprendizagem baseada em TI deixou de ser fechada e centrada, passando a uma realidade em que os indivíduos são mais sociais e onde compartilhar é essencial, a habilidade de colaborar é essencial e desejado pelos empregadores, portanto, o trabalho em equipa e a comunicação devem ser paradigmas de aprendizagem no local de trabalho.

De acordo com Jang (2015), as habilidades e competências são mais situacionais, mais dependentes da aprendizagem e representam o produto do treinamento em tarefas específicas

ou atributos individuais relacionados à qualidade do desempenho no trabalho. As habilidades ou competências podem ser medidas pela qualidade dos trabalhos relevantes no trabalho. O aprimoramento de uma habilidade está parcialmente relacionado à posse individual de habilidades subjacentes relevantes (Fleishman, 1966; Fleishman 1967; Fleishman, 1972; Ackerman, 1988).

Segundo Kagermann et al. (2013) as necessidades de qualificações, conforme ilustrado na figura 7, demonstram a importância do desenvolvimento de recursos humanos, deixando claro que a Indústria 4.0 é mais do que apenas tecnologia.



Figura 7. Exigências de qualificação do trabalhador na Indústria 4.0 (Adaptado de Kagermann et al., 2013)

Para Kagermann et al. (2013), estas exigências são aplicadas no esquema de formação e treino do trabalhador da indústria 4.0 sendo sugerindo abranger as três categorias de habilidades:

- Habilidades técnicas, por exemplo, instalar e operar dispositivos de TIC;
- Habilidades de transformação, por exemplo, propor e realizar mudanças em etapas do processo de produção que exigissem alterações ou otimizações;
- Habilidades sociais, por exemplo, trabalho em equipa, transferência de conhecimento, aquisição de conhecimento, colaboração para a sincronização de processos, datas de entrega e análise de defeitos.

Já para Erpenbeck et al. (2007) as competências do trabalhador da Indústria 4.0 são divididas a partir de uma abordagem em que elas estão sempre associadas a algum tipo de tarefa e à capacidade de realizar essa tarefa, sendo elas: pessoal, social, ação e domínio.

De acordo com Erol et al. (2016) estas competências são definidas da seguinte forma:

- Competência pessoal: pode ser entendida como a capacidade de uma pessoa agir de maneira reflexiva e autónoma. Compreendendo também a capacidade de aprender (desenvolver habilidades cognitivas), desenvolver uma atitude própria e um sistema de valores éticos.
- Competência social: A competência social refere-se ao facto de um indivíduo inserido no contexto social de uma organização possuir a capacidade de comunicar, cooperar e estabelecer conexões sociais com outros indivíduos e grupos. A integração digital e automação dos processos de fabricação exige que os trabalhadores sejam responsáveis por um escopo de tarefas mais amplo e precisarão ter capacidade de entender as relações entre os processos, os fluxos de informações, possíveis interrupções e possíveis soluções.
- Competência de ação é a capacidade de um indivíduo concretizar as suas ideias *individuais ou socialmente construídas, assimilar novos conceitos, para transferir com sucesso os planos para a realidade, não apenas no individual, mas também no nível organizacional.*
- Competências relacionadas com o domínio, referem-se à capacidade de aceder e usar o conhecimento de domínio para um trabalho ou uma tarefa específica. O conhecimento de domínio inclui metodologias, linguagens, ferramentas que são especialmente importantes para resolução de um problema ou domínio de negócios e vão além do trivial. Um elemento central da Indústria 4.0 é a digitalização completa da produção e a exploração de dados para permitir o planeamento inteligente e o controle de processos e redes de produção. Os processos e redes de produção têm peculiaridades de domínio que exigem competências específicas do domínio.

Para cargos como operadores, administrativos, engenheiros e até de gestão, o nível de competências será modificado, não apenas ao nível digital, mas também serão exigidas competências ligadas ao empreendedorismo, liderança e engenharia. De acordo com o estudo realizado pela Universidade Católica Portuguesa (2013) a capacidade de adaptação a novas situações de planeamento ou de organização (*hard skills*), além do investimento em habilidades relacionadas a aspectos da personalidade (*soft skills*) serão as competências mais valorizadas na Indústria 4.0.

De acordo com Pachauri et al. (2014) as *soft skills* são características pessoais que melhoram a interação e o desempenho no trabalho em equipa, definem-se como traços de personalidade, de relacionamento social, de fluência na linguagem, de hábitos, de simpatia e de otimismo em diferentes níveis. Rao (2012) define como as habilidades relacionadas com as tarefas como comunicação, gestão do tempo, negociação, escrever, ouvir, ler, apresentar, resolução de problemas, decisão e execução.

Segundo Silva (2012) o sucesso de uma organização depende de conhecimento técnico, e muito mais importante do que este fator está a capacidade de um grupo de indivíduos trabalhar em conjunto e otimizar os seus recursos individuais. As *soft skills* são assim habilidades fundamentais para lidar com estes aspectos comportamentais relevantes na vida pessoal e corporativa.

Indústria 4.0 é a digitalização completa da produção e a exploração de dados para permitir o planeamento inteligente e o controle de processos e redes de produção. Os processos e redes de produção (também aqueles no futuro) têm peculiaridades de domínio que exigem competências específicas do domínio que podem ser desenvolvidas através de modelos de aprendizagem como a educação corporativa, fábricas de aprendizagem e novos modelos de sistemas educacionais.

De acordo com Kagermann et al. (2013) os modelos de aprendizagem e cooperação da Alemanha, nos quais a aprendizagem teórica e prática são combinadas, podem ser adotados por outros países. Estes modelos híbridos são reconhecidos internacionalmente como abordagens superiores de treino profissional e são ideais para a construção de capacidades relacionadas com a Indústria 4.0.

De acordo com as pesquisas realizadas pelo Boston Group Consulting (2015), os sistemas educacionais devem preencher as lacunas de competências em TI, as universidades devem aumentar o número de programas de estudo interdisciplinares que integram TI e engenharia, com base nos programas atuais de informática empresarial e engenharia de negócios. Além disso Jang (2015) afirma que existem gaps entre a educação nas áreas científicas de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM) e as habilidades requeridas para trabalhar na indústria. Os educadores reconhecem ser fundamental reformular a educação nestas áreas com a finalidade de preparar os alunos para as novas exigências do mercado de trabalho.

A requalificação contínua da força de trabalho industrial é essencial, reconhecendo a necessidade de que o treino ocorra em mais ambientes do que apenas os tradicionais locais externos. Este suporte pode incluir o fornecimento de plataformas de aprendizagem *on-line* e acesso a cursos gratuitos em universidades “abertas”, que não têm requisitos de entrada, bem como o uso de aplicativos móveis para oferecer treino e acesso ao conhecimento.

No que diz respeito ao desenvolvimento das capacidades, Meister (1998) refere que entre as décadas de 1980 e 1990 muitas empresas estabeleceram universidades corporativas (UC) com o objetivo de capacitar os seus trabalhadores. Dezesete anos mais tarde, Aires et al. (2017) concordaram com Meister (1998) ao analisar que as UC foram instituídas com o objetivo de superar as lacunas na formação académica e assegurar a formação regular da sua força de trabalho, constituindo nas suas estruturas organizacionais áreas específicas para cuidar da Educação Corporativa (EC).

Para Aires (2017) as características da educação corporativa dos trabalhadores da Indústria 4.0 são:

- Aprendizagem em rede;
- Requisitos de conhecimento de nível superior (formação universitária de nível licenciatura/Bacharelado), além de técnicos e tecnológicos mais sofisticados;
- Investimento em programas de desenvolvimento humano para a inovação - geração de ideias, colaboração, compartilhamento, compartilhamento e co-produção;
- Avanço da gestão do conhecimento e do capital intelectual;
- Necessidade de desenvolvimento de novas competências;
- Surgimento de novas profissões.

Para complementar o conceito de UC supracitado um estudo realizado por Schallock et al. (2018) propõe a criação de uma espécie de learning factory (fábrica de aprendizagem) similar ao conceito de UC supracitado, na qual os trabalhadores aprenderão de forma didática, numa sequência alternada entre observação, teoria e prática dos conhecimentos necessários para a capacitação no contexto da Indústria 4.0. São ensinados métodos de otimização de processos de acordo com princípios e a filosofia Lean. Este tipo de formação utiliza cenários para mostrar situações reais e problemas da vida quotidiana dos participantes, além do input teórico.

De acordo com Karre et al. (2017) as fábricas de aprendizagem são espaços de aprendizagem física onde as habilidades sociais, práticas e teóricas podem encontrar-se e evoluir. O termo

remonta aos anos noventa e nasceu da necessidade de ter uma formação mais prática de engenheiros, copiando o modelo de formação de enfermeiros e médicos em hospitais universitários. O treino prático em contexto real fabril tem algumas limitações, com o objetivo de reduzi-las foram incluídos simuladores de alta fidelidade onde experiências, investigação e educação podem ser combinados.

Segundo Faller & Feldmüller (2015) a primeira fábrica de aprendizagem foi implementada no campus Velbert / Heiligenhaus (CVH) da Universidade de Ciências Aplicadas de Bochum, onde a gestão dos processos é integrada desde o chão de fábrica até a gestão de topo gerando uma enorme transparência. Por este meio, a informação da cadeia é fornecida em tempo real. Ocorre a monitorização do desempenho num cenário de produção e a reação em tempo real aos problemas. São utilizadas principalmente as tecnologias desenvolvidas nas áreas de automação e informática, encontradas na fábrica de aprendizagem. Assim, os produtos físicos e processos reais podem ser treinados e otimizados. Os conceitos didáticos são baseados em palestras teóricas seguidas de treino prático e oficinas integradas, onde os participantes são capazes de simular as suas estratégias de optimização.

Ahmad et al. (2018) citam alguns exemplos bem-sucedidos de fábricas de aprendizagem que incluem a PennState LF (Universidade Estadual da Pensilvânia, EUA), a iTRAM (Universidade de Stuttgart, GE) e Process Learning Factory (TU Darmstadt, GE), as quais proporcionam a aprendizagem, aperfeiçoando a ligação entre a indústria e a academia. A principal vantagem de tais ambientes avançados de aprendizagem é a flexibilidade, layouts alternativos e configuração de problemas com tempo mínimo de troca a fornecer aprendizagem experimental para o usuário que são amplamente utilizados e integrados em tais ambientes práticos.

Outro exemplo fornecido por Ahmad et al. (2018) é uma fábrica piloto de aprendizagem no Canadá, na qual foi implementado um ambiente de aprendizagem experimental e baseado em projetos, onde os alunos são treinados em gestão de projetos interdisciplinares, utilizando várias ferramentas de gestão Lean, como gestão da cadeia de valor, produção balanceada, identificação de gargalos, design de chão de fábrica e ferramentas visuais, são integradas em projetos de grupos de alunos. Os alunos têm a tarefa de montar uma máquina de impressão 3D baseada em Lego com diferentes submontagens num ambiente de simulação de fábrica. A ideia principal do uso do Legos é demonstrar a reconfigurabilidade conforme exigido pela Indústria 4.0.

No exemplo supracitado existe um laboratório de Automação, no qual trabalham essencialmente com temáticas relacionadas com a Indústria 4.0 e as questões de eficiência energética. A parte experimental como a programação, a otimização e a medição podem ser feitas através de uma imagem abrangente de uma instalação de produção real. Além disto os participantes de seminários entenderão os meios da automação moderna e controlo de robôs, e terão a oportunidade de experimentar as diferentes formas de comunicação, adequando a tecnologia por tipo de aplicação. Conseguem ainda utilizar na prática todas as tecnologias mostradas e perceber a força de tais tecnologias, especialmente para análise de dados em tempo real.

O treino principal consiste em três dias e abrange as vantagens do uso das tecnologias da Indústria 4.0. Durante os treinos sugeridos por Schallock et al. (2018), os participantes implementarão diversas tecnologias para criar um sistema inteligente e flexível, tendo em consideração os elementos e as abordagens da Indústria 4.0. Os elementos de digitalização incluem a integração de uma cultura de performance digital, o que significa que toda a informação sobre o desempenho da linha é visualizada numa tela digital em vez de ter papel impresso. O fluxo de produtos é transparente usando as tags de radio-frequency identification (RFID).

Além disso, uma montagem automatizada dos produtos é introduzida para ensinar as vantagens dos participantes e também os desafios e limitações da automação. Para introduzir a possibilidade de individualização, um laboratório de protótipos rápido é instalado. Neste laboratório, os participantes devem aprender como projetar produtos e como usar a manufatura aditiva como uma opção para a individualização. (Schallock et al.,2018)

Além disso, uma montagem automatizada dos produtos é introduzida para ensinar as vantagens dos participantes, mas também os desafios e as limitações da automação. Para introduzir a possibilidade de customização, mesmo já no desenvolvimento de produto, um laboratório de prototipagem rápida é instalado. Neste laboratório, os participantes devem aprender como projetar produtos e como utilizar a manufatura aditiva como uma opção para a customização.

De acordo com uma pesquisa realizada pela Davenport (2013), a diretora global de produção da General Motors exemplificou que na nova fábrica da Chevrolet, tanto os operadores como o gerente da fábrica, são envolvidos na resolução de problemas, utilizando ferramentas como diagramas Iskawa e outras ferramentas de gestão da qualidade. Ou seja, é necessário que estes trabalhadores detenham um amplo conhecimento técnico e prático na resolução de problemas.

Algumas empresas alemãs com operações na América do Norte importaram algumas práticas de formação profissional que são populares na Alemanha. A Siemens, por exemplo, abriu uma fábrica de turbinas a gás em Charlotte, e formou uma parceria com o Colégio Comunitário Central Piedmont. A empresa ajudou os cursos de design da faculdade em treinos com equipamentos de laser e robótica.

Existem também outras empresas alemãs que importaram talentos de fabricação através de programas de desenvolvimento. A BMW, por exemplo, também criou o seu próprio programa para competências avançadas de produção nas suas operações na Carolina do Sul. A Rolls-Royce tem um extenso programa de aprendizagem que engloba as suas fábricas nos EUA e no Canadá.

Os programas de educação técnica mais bem institucionalizados do mundo estão nos países de língua alemã, Alemanha, Suíça e Áustria (Davenport, 2013). Eles incorporam os seguintes atributos:

- Triagem precoce de estudantes em treino baseado em tecnologia;
- Estágio extensivo ou programas de aprendizagem em empresas que combinam treino *on-the-job* com educação em sala de aula;
- Fortes vínculos com determinadas empresas como empregadores - especificamente “Mittelstand”, ou empresas privadas de tamanho médio, com foco na exportação;
- Uma tradição cultural que apoia os estudantes nos campos industriais e técnicos;
- Ofertas educacionais semelhantes em todos os estados (embora na Alemanha cada Estado seja responsável pelo desenvolvimento de seus próprios programas).

Com objetivo de exemplificar o impacto geral da utilização das tecnologias sobre a força de trabalho e as novas habilidades necessárias para concluir as tarefas relacionadas Lorenz et al. (2015) referem alguns casos em indústrias, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Exemplos de utilização de novas tecnologias e habilidades requeridas. (Adaptada de Lorenz et al. 2015)

Tecnologia 4.0	Antigo cenário	Cenário Atual (Impactos sobre a procura de trabalhadores)	Cenário Atual (Novas habilidades requeridas)
<i>Big Data</i> aplicado ao Controle de Qualidade	Uma empresa utilizava algoritmos para analisar dados de controlo de qualidade (histórico e tempo real).	A aplicação de <i>big data</i> reduzirá o número de trabalhadores especializados em controlo da qualidade.	Aumenta necessidade de profissionais designados por cientistas de dados industriais.
Produção Assistida por Robôs	Trabalho manual em operações de produção, como montagem e embalagem.	Redução da quantidade de trabalhadores (trabalho manual) devido à utilização de robôs semelhantes a humanos, em relação à anatomia, que realizarão as tarefas de montagem e embalagem.	Aumenta necessidade de profissionais designados por coordenadores de robôs.
Realidade Aumentada	Trabalhadores deslocam-se pelas áreas de expedição procurando produtos nas prateleiras.	Reduz a quantidade de trabalhadores pois optimiza-se o processo através da utilização de óculos de realidade aumentada para ver as informações de expedição e as instruções de navegação, incluindo a localização exata de um item numa prateleira, e para ler códigos de barras automaticamente	Esta tecnologia aumenta significativamente a eficiência do processo para os técnicos de serviço, ao mesmo tempo exige que as empresas criem novos recursos abrangentes em sistemas de Investigação e Desenvolvimento, TI e assistência digital
Manufatura Aditiva	Fábrica com necessidade de montagem de um produto que contém várias peças e inventários individuais dessas peças.	Técnicas como sinterização seletiva a laser e impressão 3D permitem que os fabricantes criem peças complexas numa única etapa, reduzindo a quantidade de trabalhadores operacionais.	Trabalhadores especializados em investigação e desenvolvimento que criam desenhos assistidos por computador 3D e modelagem 3D.

De acordo com Boston Group Consulting (2015) surgem duas novas profissões que exigem habilidades específicas: os cientistas de dados industriais e os coordenadores de robôs.

Os cientistas de dados industriais são especialistas que irão extrair e preparar dados, conduzir análises avançadas e irão aplicar as descobertas para melhorar os produtos ou o processo produtivo. Tendo como principais habilidades: a capacidade de analisar a causa raiz para identificar correlações e tirar conclusões; a habilidade de programação computacional e a flexibilidade para abordar os tópicos continuamente ou responder a solicitações específicas, além de poderem trabalhar no local ou remotamente.

Já os coordenadores de robôs possuem a função de supervisionar os robôs no chão de fábrica e responder a defeitos ou sinais de erro. O coordenador realizará tarefas de manutenção de rotina. Se um robô precisar ser retirado de serviço, o coordenador substituirá o robô por um substituto, a fim de reduzir o tempo de inatividade da produção

De acordo com o relatório realizado em 2015 pelo Boston Group Consulting a utilização da robótica e informatização reduzirá o número de empregos em montagem e produção em aproximadamente 610.000. No entanto, esse declínio será mais do que compensado pela criação de novos empregos conforme figura 8 abaixo.

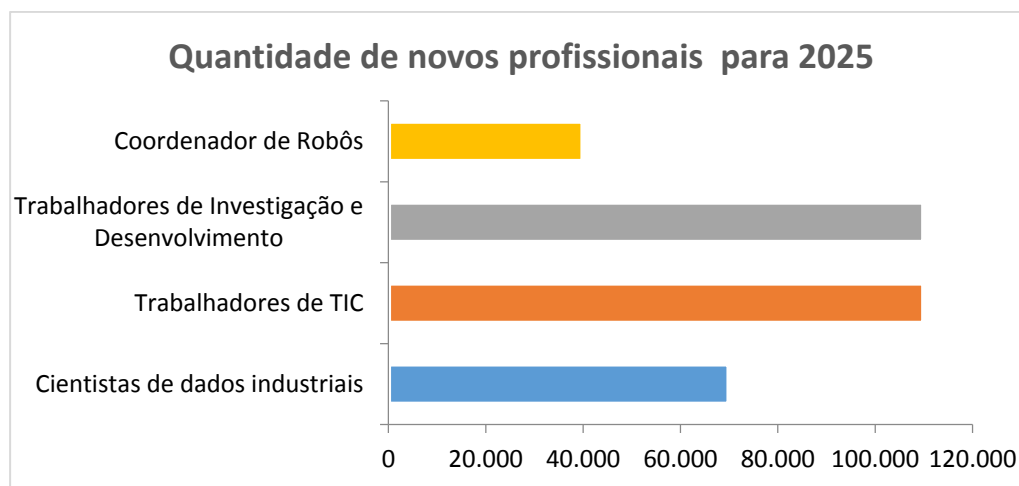


Figura 8. Quantidade de novos profissionais em 2025 (Dados retirados de BCG, 2015)

As perdas de emprego atingirão 4% de trabalhadores da produção, 8% no controle de qualidade e 7% na manutenção. O trabalho cognitivo de rotina também será afetado, por exemplo, mais de 20.000 empregos no planejamento de produção serão eliminados.

## 4. Organização dos Postos de Trabalho

Os novos ambientes de trabalho, como a "fábrica ciber-física", afetarão diretamente o operador e a natureza do seu trabalho, criando novas interações não apenas entre humanos e máquinas, mas também com as novas formas de organização do trabalho. As empresas produtivas terão de acompanhar as transformações tecnológicas com programas de formação e treino para o desenvolvimento das capacidades da sua força de trabalho, em novas ferramentas e tecnologias.

Três aspectos organizacionais que sofrem alteração segundo referem-se à flexibilidade de horários e cronogramas, aspectos relacionados com a capacidade decisória e integração entre os departamentos (BGC, 2015).

A flexibilização de horários está relacionada com a necessidade de acomodar o aumento da variabilidade nos cronogramas de produção, a empresa deve considerar novos modelos de trabalho que incluam horários flexíveis semelhantes aos já aplicados em ambientes de escritório. Já nos aspetos decisórios, um coordenador de robô, por exemplo, não precisará de esperar por instruções de um supervisor antes de permitir que um robô inicie reparações de emergência em máquinas de produção. Por fim a integração entre departamentos será importante para que cada um consiga interagir e encontrar soluções e entender o papel de cada um no processo.

Dombrowski et al. (2014), afirmam que a Indústria 4.0 terá que permitir a colaboração entre os sistemas ciber-físicos e os trabalhadores, oferecendo uma efetiva interação na realização de tarefas complexas e no controlo de processos e máquinas. O trabalho deixa de se estruturar em torno de tarefas específicas e passa a contar com uma cooperação interdisciplinar. As competências mudarão de capacidades técnicas específicas e relativas a um único processo, para capacidade de pensamento complexo, abstração e habilidade de resolução de problemas.

A tendência da utilização de tecnologias avançadas resulta no surgimento de mudanças nos locais de trabalho, tornando o trabalho menos manual e mais exigente ao nível do raciocínio. Os futuros trabalhadores da indústria precisam de ter capacidade de analisar, executar e inovar, exigindo-se assim um aumento do nível de conhecimento em geral.

De acordo com Santos (2016), no trabalho humano serão enfatizadas as tarefas de programação e monitorização de equipamentos e produtos que comunicam entre si. As tarefas serão mais automatizadas, customizadas, contínuas e integradas na cadeia de valor. O aumento da complexidade dos sistemas de produção implicará decisões descentralizadas realizadas pelos equipamentos e pelas pessoas da organização, baseados em quantidades de informações disponíveis nas bases de dados.

## 4.1 Ferramentas HMI para Suporte das Novas Funções

A interface homem-máquina (HMI) é a forma como os seres humanos, interagem com as máquinas, e definimos uma máquina como "qualquer dispositivo mecânico ou elétrico que transmite ou modifica energia para executar ou auxiliar no desempenho de tarefas humanas". A partir de 1980 começaram a surgir uma gama de dispositivos HMI, incluindo tablets gráficos, touch screens, *hardware*, *joy pads* e *sticks*. Os seres humanos interagem com as máquinas através de vários canais: óptica, acústica, biónico, tátil e movimento (Cannan et al., 2015), cada um destes conceitos é explicado de seguida:

- Óptica - O HMI ótico geralmente não necessita necessariamente que o utilizador o toque fisicamente, os movimentos e os gestos simples da mão podem ser facilmente usados para interagir com o dispositivo, o que permite que ele se torne uma interface muito eficaz. Exemplos: câmaras, lasers e leds.
- Acústica - Esta tecnologia concentra-se principalmente no reconhecimento da fala e pode ser utilizada para converter palavras faladas para texto, manipular ou controlar um dispositivo ou comunicar com uma máquina.
- Biónico - É uma combinação de biologia, robótica e ciência da computação, e pode ser visto como qualquer tecnologia que usa ou monitoriza as características do corpo, a fim de realizar uma função.
- Tátil - É a única tecnologia que exige fisicamente que haja um contato através do toque, todos os outros em algum sentido podem operar num sistema de mãos livres. O exemplo mais clássico de toque é o botão, como usado no teclado, que é o mais popular dispositivo HMI já criado.
- Movimento - Qualquer tecnologia que exija que o utilizador mova parte do *hardware* e cujo propósito principal é de alguma forma detectar o movimento.

Assim os seres humanos interagem com as máquinas através de vários canais. A visão, a audição e às vezes o tacto são utilizados na comunicação entre o homem e a máquina. A interação manual, toque, voz, gesto, olhar e às vezes até as interfaces do cérebro são utilizadas para o ser humano comunicar com a máquina (Kortum, 2008).

Um sistema HMI é capaz de abranger todos os elementos cruciais numa interação virtual que um utilizador final é capaz de ouvir, tocar, assistir e usar com a finalidade de executar vários tipos diferentes de funções de controlo e de receber *feedbacks* sobre todas essas ações e funções. A realidade aumentada, a inteligência artificial e a realidade virtual são exemplos de ferramentas HMI que serão detalhadas nos próximos subcapítulos.

A capacidade potencial de aprendizagem é diferente nos seres humanos e nas máquinas, em particular no que se refere à execução de diferentes tarefas como trabalhos mecânicos e tomada de decisões. A variação da qualidade e desempenho na execução de uma determinada tarefa são os principais indicadores, que identificam e, em última análise, distinguem a capacidade do ser humano e da máquina de executar a tarefa atribuída

Um novo conceito é introduzido como modelo de construção de aprendizagem da máquina, o Machine Learning (ML), que é uma junção da matemática (álgebra linear, cálculo integral e diferencial, estatística, teoria da probabilidade, etc.), software e dados (estruturados ou semi-estruturados). Esta associação possibilita que as máquinas “aprendam” e executem tarefas específicas sem serem previamente programadas.

Na figura 9 é exemplificado o interface homem-máquina, o atuador é quem realiza a ação desejada, neste caso o atuador é o que fará a ponta da ferramenta mover-se e realizar a ação. Os sensores captam as informações, que podem chegar através de tato, audição e visão. Uma vez que os sinais captados serão enviados ao cérebro que processará a informação e enviará um sinal como resposta. A cognição do ser humano é o ato de processar e entender a informação recebida através do sinal dos sensores. Este sinal gera uma ação, como por exemplo pegar num objeto. O display mostrado na figura transmitirá a informação para alguém que está fora do sistema, informando-o sobre o funcionamento do processo (podendo isto ser realizado através de um monitor ou um sinal audível).

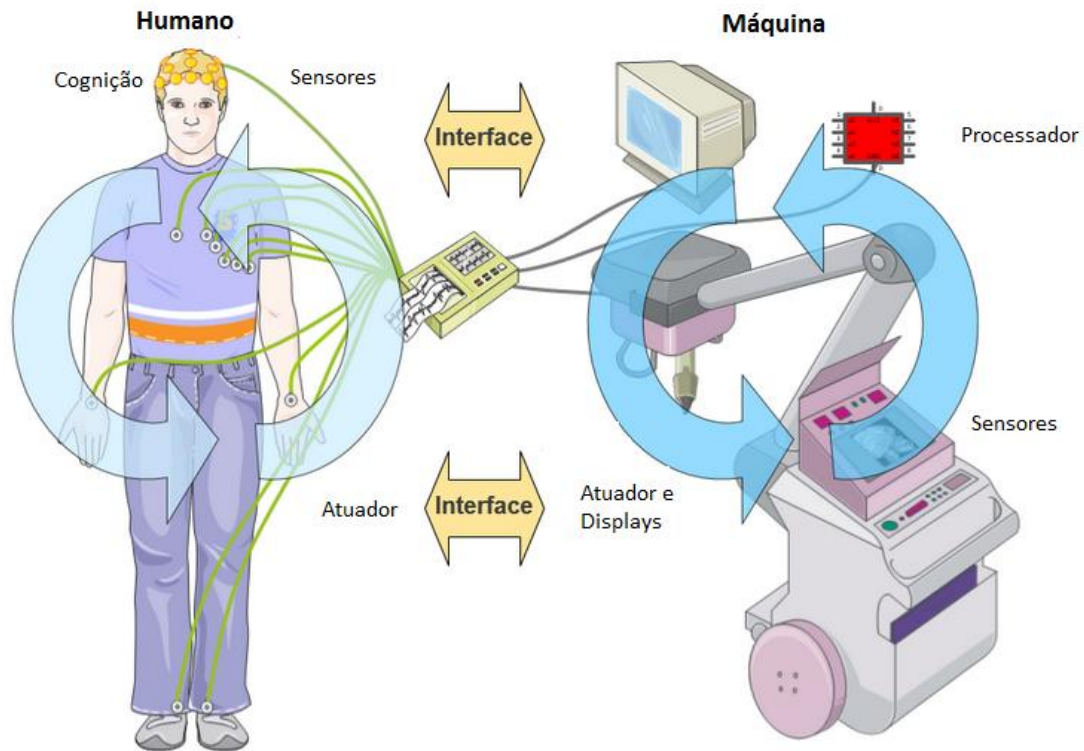


Figura 9. Exemplo de interface Homem-Máquina (Adaptado de Micro/Nano Soft Biomechanics Laboratory, n.d)

### 4.1.1 Realidade Aumentada

De acordo com Ribeiro (2017) a implementação do conceito de realidade aumentada (AR) na Indústria 4.0 vai permitir a recepção de informação em tempo real, possibilitando ao trabalhador tomar decisões e adaptar os processos de trabalho. Esta tecnologia pode revolucionar a forma como os seres humanos interagem com as máquinas e como as máquinas interagem com os seres humanos.

Azuma (2017) explica a realidade aumentada como uma variação de ambientes virtuais. Segundo Albertin (2017), enquanto as tecnologias de realidade virtual possibilitam uma imersão total do utilizador dentro de um ambiente digital impossibilitando-o de ver o mundo real durante a imersão, a realidade aumentada permite ao utilizador ver o mundo real com objetos virtuais sobrepostos ou compostos com o mundo real.

Para Rübmann et al. (2015) os trabalhadores podem receber instruções sobre como substituir uma peça em particular, pois estão a observar o sistema real que precisa de reparação. Estas

informações podem ser exibidas diretamente no campo de visão do trabalhador através da utilização de dispositivos como óculos de realidade aumentada. Outra aplicação é o treino virtual, a Siemens desenvolveu uma fábrica virtual para treinar os seus operadores, utilizando dados realistas transmitidos através de óculos de realidade aumentada com o objetivo de treinar os funcionários da fábrica para lidar com emergências.

Masoni et al. (2017) exemplificam a utilização da realidade aumentada como suporte para a manutenção na indústria, podendo auxiliar a reduzir o tempo e os erros de tarefas de manutenção. Romero et al. (2016) refere que a AR também pode ser utilizada para ativar “sistemas digitais de Poka-Yoke” para funções de trabalho intensivo (tarefas), a fim de reduzir os defeitos, o retrabalho e a inspeção redundante.

Além disso, a AR pode introduzir uma nova interface homem-máquina através de aplicativos de TI, os quais exibem *feedback* para o operador em tempo real sobre os processos de fabricação e as máquinas, com o objetivo de facilitar e melhorar a tomada de decisões (Romero et al., 2016).

#### **4.1.2 Realidade Virtual**

De acordo com Romero et al. (2016) a Realidade Virtual (VR) é uma realidade imersiva multimédia interativa e simulada por computadores que podem replicar digitalmente um ambiente de projeto, montagem ou fabricação. Permite ao operador interagir com o mundo digital (por exemplo, um projeto, uma ferramenta manual, um produto, uma máquina, robô, uma linha de produção, uma fábrica), com menor risco e feedback em tempo real.

A VR possibilita a utilização de simulações virtuais (por exemplo, sequências de montagem) para treinar os operadores em tarefas complexas de montagem, e em diferentes estágios de fabricação do produto. Ela permite dar “vida” à fábrica virtual avaliando diferentes *layouts* de fábrica, configurações da linha de produção e cronogramas de produção que permitirão otimizar o plano de produção (Romero et al., 2016).

Braga (2001) descreve três ideias básicas do sistema de Realidade Virtual:

- **Imersão:** Todos os dispositivos sensoriais são significativos para a sensação de imersão. Frequentemente são utilizados objetos como capacetes de visualização e salas de projeções das visões para auxiliar na imersão.
- **Interação:** Refere-se à capacidade do computador em detectar as entradas do utilizador e modificar instantaneamente o mundo virtual e as ações sobre ele (capacidade reativa).
- **Envolvimento:** está relacionada com o grau de motivação para o comprometimento de uma pessoa com determinada atividade, podendo ser passivo ou ativo.

### 4.1.3 Inteligência Artificial

A capacidade dos robôs replicarem funções humanas com maior produtividade gera um enorme impacto no mercado de trabalho. Segundo Macdougall (2014) a inteligência artificial tem a capacidade de aumentar ainda mais essa autonomia em relação a soluções automatizadas, aumentando significativamente os índices de individualização e flexibilização.

Freitas (2016) exemplifica um caso de inteligência artificial através da presença de nano sensores que poderão permitir o manuseamento de um conjunto de peças entre seres humanos e robôs. Os robôs poderão ser controlados remotamente, ou seja, se algo acontecer, o operador receberá uma mensagem no seu telemóvel, ligará a *webcam* e poderá visualizar o problema. Assim poderá dar instruções ao robô para permitir que a produção continue antes de ele retornar à fábrica no dia seguinte.

Na etapa de produção encontram-se as principais aplicações da inteligência artificial na indústria. Os braços robóticos colaborativos funcionam lado-a-lado com trabalhadores numa linha de produção com segurança, apoiando e realizando tarefas repetitivas com precisão, tais como montagem de equipamentos e embalagem de produtos. Além disso na área de manutenção preditiva é possível identificar com antecedência soluções para indícios que podem levar a falhas e paragens de equipamentos. Na fabricação, a inspeção visual de produtos na linha de produção, realizada por equipamentos apoiados por IA, poderá permitir identificar produtos fora do padrão, com rapidez e flexibilidade (Villas,2017).

De acordo com o IBA Global Employment Institute (2017), o termo Inteligência artificial descreve os processos de trabalho de máquinas que exigiriam inteligência se realizada por humanos. O termo "inteligência artificial" significa 'Investigar o comportamento inteligente de resolução de problemas e criar sistemas de computadores.

## 4.2 Robôs Autônomos e Robôs Colaborativos

De acordo com Noran et al. (2017), a transformação em direção à Indústria 4.0 precisará de novas filosofias de projeto e engenharia para os sistemas de produção que relacionam o trabalhador e os sistemas "ciber-físicos" em que a automação, a robótica e outras tecnologias avançadas de produção são vistas como possibilidades para o aprimoramento e o aumento das capacidades físicas, sensoriais e cognitivas do ser humano.

Os robôs estão a tornar-se mais autônomos, flexíveis e cooperativos, e sem dúvida irão interagir entre eles e trabalhar em segurança paralelamente aos seres humanos e aprender com eles. Mak (2016) define robô autônomo como aquele que é utilizado para executar tarefas de maneira autossuficiente e também operar em ambientes onde os trabalhadores têm um acesso restrito. Os robôs autônomos conseguem realizar determinadas tarefas de forma precisa e inteligente dentro do tempo pré estabelecido para a sua execução.

Atualmente algumas empresas já são capazes de produzir os seus produtos em fábricas onde robôs automatizados são responsáveis pela produção, como na fábrica da Philips, na Holanda, que produz barbeadores elétricos com 128 robôs e apenas nove trabalhadores, sendo considerada como um local cuja organização da produção é centrada basicamente nos robôs (Belluzzo e Galípolo, 2016).

A cooperação entre robôs e humanos abriu novos horizontes à interface homem-máquina e mudou completamente o estilo de vida humano e do ambiente de trabalho. Como exemplo desta cooperação pode ser referido uma aplicação estudada por Francesco et al. (2017), na qual um conjunto de universidades italianas desenvolveu o AURA, o primeiro robô colaborativo que possui capacidade de manuseamento de cargas pesadas, com tecnologia baseada na comunicação entre uma combinação de sensores colocados na superfície externa, capazes de detectar a proximidade humana. De seguida são descritos dois exemplos de aplicação prática deste robô:

- A aplicação de polimento é a demonstração perfeita de colaboração homem-máquina. O AURA foi equipado basicamente com um *scanner* a laser e sensores de força. No modo automático o movimento do robô começa a partir de uma posição inicial e termina no capô do carro. O *scanner* a laser é usado para detectar a presença humana e o sensor de força é usado para ativar eventualmente a orientação manual. O operador poderia interagir com o AURA, parando-o com um toque suave e realizando então alguma operação de ensino a este robô. Quando a operação de ensino estiver concluída, o robô reinicia automaticamente a operação de polimento no carro.
- A aplicação de manuseamento está relacionada a capacidade de movimentar facilmente objectos pesados com a ajuda do robô colaborativo. Graças ao sensor, é possível ensinar as posições de *picking* de objetos pesados. O AURA consegue introduzir automaticamente a bateria dentro do carro, sendo possível também guiá-lo manualmente com a ajuda do operador.

Os robôs colaborativos (Cobots) ou robôs inteligentes adquiriram novas habilidades além das tarefas complexas já realizadas nas indústrias tradicionais. Na Indústria 4.0 eles tornaram-se mais autónomos, flexíveis e colaborativos (Albertin, 2017). Os robôs autónomos são máquinas inteligentes capazes de executar tarefas por si só, sem controlo humano explícito (Bekey, 2005). De acordo com Werner et al. (2015) um cobot destina-se a trabalhar ao lado de humanos num espaço de trabalho compartilhado sem as tradicionais proteções ou gaiolas de segurança. A tecnologia dos Cobots tem tido um forte crescimento em diferentes áreas como a indústria de processamento, a fabricação de automóveis e a engenharia aeronáutica. Os Cobots são capazes de trabalhar com trabalhadores humanos assim como, substituí-los na execução de algumas tarefas.

Os Cobots estão a reduzir significativamente a barreira de automatização dos processos, possibilitando a sua implantação em áreas anteriormente consideradas muito complexas ou inacessíveis. Estes robôs ajudam a enfrentar o desafio de produção a curto prazo, ultrapassando o *gap* entre as linhas de montagem totalmente manuais e as linhas de fabricação totalmente automatizadas.

De acordo com a consultora i-SCOOP (2018), os Cobots são equipados com sensores, tecnologias inteligentes e sistemas que estão ligados a IoT e/ou sistemas específicos (exemplo: sistemas de gestão de armazém). Isto ocorre pois os Cobots precisam ajudar em segurança o trabalhador, e tais tecnologias e sensores são essenciais para que isto seja possível. Os Cobots tentam replicar algumas características do comportamento humano, ou seja possuem consciência de localização e são sensíveis ao cenário ao seu redor. Ou seja, cobots são robôs que não precisam de estar

isolados dos seres humanos (através de sistemas de proteção), eles são programados com uma tecnologia que permite estarem “conscientes” da sua localização e do ambiente em que estão inseridos mantendo assim a segurança máxima em relação ao trabalhador.

De acordo com Rosenthal et al. (2010), os robôs exigem que os supervisores humanos estejam continuamente presentes para monitorizar o seu progresso, assumir o controlo ou redirecionar o robô sempre que ocorra um erro. São relações simbióticas que beneficiam mutuamente os robôs e os seres humanos, solicitando e recebendo ajuda sobre ações que algum destes não possa executar sozinho devido à sua falta de capacidade. A ajuda pode ocorrer de duas formas: quando um agente executa a ação por outro, por exemplo, quando o trabalhador acompanha o robô para o local pretendido, e a outra forma quando um agente complementa a capacidade do outro para completar uma atividade, o trabalhador informa o robô que ação este deve executar.

No que se refere às capacidades humanas, um cobot pode solicitar ajuda quando não tem capacidade para realizar determinada tarefa, entretanto as capacidades dos trabalhadores podem ser limitadas nesta ajuda requerida, ou seja, o trabalhador pode não perceber qual a necessidade do robô na realização de determinada atividade. É importante que o trabalhador seja preciso ao responder às solicitações, e tenha um correto entendimento das mesmas, caso seja incapaz de ter tempo suficiente para ajudar o robô ou não compreenda o que foi solicitado poderá gerar uma falha na realização da tarefa.

Os robôs colaborativos melhoram a segurança do ambiente de trabalho e apresentam algumas vantagens (Vysocky & Novak, 2016):

- Do ponto de vista socioeconómico, a utilização de robôs aumenta a competitividade das empresas em comparação com países com mão-de-obra mais barata.
- A precisão no posicionamento repetível do robô e a operação contínua, fornecem melhor qualidade e menores requisitos para o pós processamento e controlo da qualidade.
- O robô pode acelerar algumas operações e ajustar-se a condições, o que pode resultar num aumento da produtividade.
- Existe uma relação entre a carga sobre os trabalhadores e a ergonomia das operações. Melhorar o ambiente de trabalho pode levar à diminuição de doenças profissionais.
- Situações perigosas geralmente ocorrem devido ao não cumprimento de regras de segurança, mas com a utilização desta tecnologia mais segura o risco de acidentes e lesões é menor.

Os Cobots permitirão espaços de *co-working* e interação com o ser humano sem a necessidade das barreiras de segurança tradicionais. Estas possibilidades irão criar benefícios, tais como a recuperação do espaço do chão de fábrica normalmente perdido devido a barreiras de proteção, aumento de produtividade e satisfação do operador, que poderá realizar as suas tarefas de forma mais eficaz porque ficou isento de desempenhar tarefas monótonas, não ergonómicas ou até mesmo perigosas (Vysocky & Novak, 2016).

Com o crescente nível de cooperação, o espaço de trabalho do robô e do trabalhador é compartilhado de forma crescente até que estejam completamente juntos, conforme ilustrado na Figura 10.

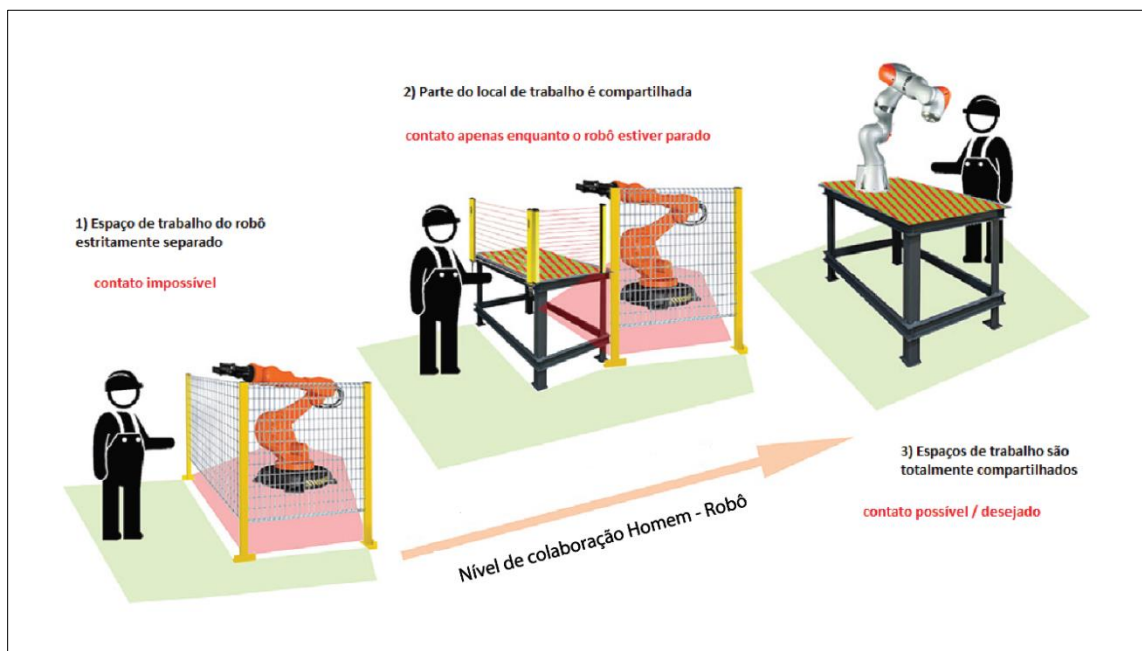


Figura 10. Espaço de trabalho compartilhado de um humano e um robô (Adaptado de Vysocky & Novak 2016)

Nesta figura podemos observar:

- 1) A célula-robô padrão tem uma barreira fixa ou virtual na forma de *scanner* ou cortina de luz para impedir o contato humano com a máquina.
- 2) Uma forma mais alta de cooperação é compartilhar o espaço de trabalho com movimento exclusivo do robô sob a condição de que o ser humano não invade seu espaço de trabalho.
- 3) A forma mais avançada de movimento simultâneo e compartilhamento do mesmo espaço sem barreiras.

### 4.3 Colaboração entre Trabalhadores e Robôs

De acordo com Görür et al. (2018) para uma relação humano-robô eficiente, os robôs não devem considerar apenas o ambiente e monitorizar as ações do parceiro humano, mas também processar ações para antecipar o conhecimento humano, o estado de espírito e a sua contribuição para as tarefas colaborativas.

O uso deste conhecimento antecipado como um mecanismo de tomada de decisão depende da capacidade de adaptação dos robôs colaborativos a diferentes tipos de trabalhadores, aos seus comportamentos e necessidades. Perceber tal capacidade de adaptação permitirá que os Cobots trabalhem de forma mais eficiente e integrada com seus parceiros humanos, aumentando assim a produtividade global.

A “chave” para uma robótica inteligente no contexto da I4.0 e IoT, onde a elevada produtividade é exigida pelo mercado, é a colaboração entre trabalhadores e robôs (Thoben et al., 2017). Os trabalhadores são essenciais no papel de coordenação e/ou supervisão e para trabalhos onde os robôs não são treinados ou capazes de realizar.

É importante que o ambiente de trabalho seja planeado de forma a assegurar uma interação segura entre os trabalhadores e os robôs. Existe uma área entre a produção manual e a totalmente automatizada onde o trabalhador entra em contato com a máquina. Esta área tem muitas limitações devido a restrições de segurança. Só é permitido que a máquina esteja em trabalho automático se o trabalhador estiver fora da zona de trabalho da máquina. A robótica colaborativa estabelece novas oportunidades na cooperação entre humanos e máquinas. O robô monitoriza os seus movimentos usando sensores para não por em risco a vida humana (Vysocky & Novak, 2016).

Darvish et al. (2018) exemplificam o relacionamento entre o robô e o trabalhador em tarefas de montagem envolvendo um pequeno número de peças semi-acabadas. Neste caso surgem algumas situações mais difíceis, dado que a ordem das operações de montagem pode não estar correta, ou seja, são possíveis sequências diferentes. Neste caso espera-se que o robô ajude e se adapte às ações humanas durante a execução para que ocorra uma cooperação favorável, na qual o trabalhador e o robô devem entender as ações e intenções um do outro. A Tabela 3 apresenta quatro especificações funcionais que visam melhorar a experiência de trabalho do operador.

Tabela 3. Especificações funcionais dos operadores x robôs. (Adaptado de Darvish et al. (2018))

Especificações	Operador	Robôs
<b>Flexibilidade</b>	Não devem ser forçados a seguir uma rigorosa sequência de operações pré-definidas, mas devem decidir quais ações executar em tempo real.	Os robôs devem compensar entre fornecer aos operadores sugestões ótimas para as próximas ações e também reagir adequadamente quando os operadores não seguirem as instruções.
<b>Inteligibilidade</b>	Enquanto o processo de cooperação se desdobra, o operador deve ser capaz de compreender intuitivamente as ações e as intenções do robô e, e isso pode ser alcançado num nível simbólico e linguístico de comunicação.	Os robôs devem ser capazes de desistir do planeamento de ações (cujos resultados são significativos para os operadores) de movimento e controlo.
<b>Adaptabilidade</b>	Para que um robô detecte e classifique acções realizadas por um operador, não deve ser necessário que diferentes operadores realizem uma acção específica.	Os robôs devem adaptar-se sem requerer um processo de calibração específico do operador.
<b>Transparência</b>	Os operadores não devem ser obrigados a limitarem-se em determinadas situações por exemplo, a serem forçados a permanecer em frente a um robô colaborativo o tempo todo, para monitorizar as suas acções durante o processo de cooperação.	Os robôs possuem uma arquitetura de sensoriamento, representação, planeamento e controlo para a cooperação flexível entre os seres humanos e os robôs.

## 5. Conclusões

Os novos avanços tecnológicos influenciarão os setores industriais a acompanharem e a investirem em mudanças referentes às competências cognitivas do trabalhador e à organização dos postos de trabalho. Esta rápida transformação exige uma compreensão teórica e prática por parte de todos os envolvidos no ambiente organizacional.

Para integrar esta transformação o novo perfil do trabalhador exigirá que as suas capacidades cognitivas, capacidades técnicas e humanas sejam exploradas, desenvolvidas e aperfeiçoadas, para que aconteça uma aplicação prática na rotina de trabalho. Ocorrerá um aumento da necessidade não só de tarefas operacionais, mas principalmente tarefas que exigem habilidades mentais, como por exemplo aquelas fornecidas por tecnologias de realidade virtual, realidade aumentada, inteligência artificial, interfaces homem-máquina (HMI), entre outras.

O presente trabalho analisa as novas competências do trabalhador, podendo estas ser categorizadas em: gerais, físicas, pessoais, sociais, de conteúdo, cognitivas, de ação e de domínio. Cada uma delas representa diferentes requisitos exigidos pelos mais diversificados setores produtivos acompanhando assim os avanços desta nova revolução industrial. A tabela 4 exemplifica as principais competências e perfis relacionados, citados por alguns autores.

Tabela 4. Principais competências citadas

Competências	Perfil	Autor
Competências Cognitivas	pensamento crítico; resolução de problemas; análise, raciocínio/argumentação; interpretação; tomada de decisão e aprendizagem alfabetização em informação; alfabetização em tecnologia da informação e das comunicações; comunicação oral e escrita; escuta ativa; criatividade; inovação.	Medeiros (2017)
	flexibilidade cognitiva; criatividade; raciocínio matemático.	Word Economic Forum (2016)
Competências Gerais	visão técnica; multidisciplinaridade; colaboração; idioma; espírito crítico; flexibilidade.	Revista Exame 2016

Competências Físicas	força física destreza manual	Word Economic Forum (2016)
Competências de Conteúdo	aprendizagem ativa expressão oral compreensão de leitura; expressão crítica.	Word Economic Forum (2016)
Competências Pessoais	agir de maneira reflexiva e autônoma; capacidade de aprender	Erol et al. (2016)
Competências Sociais	capacidade de comunicar; cooperação; capacidade de estabelecer conexões sociais com outros indivíduos e grupos.	
Competências de Ação	capacidade de concretizar ideias individuais ou socialmente construídas; capacidade de assimilar novos conceitos.	
Competências de Domínio	capacidade de utilizar o conhecimento específico para um trabalho ou atividade específica; domínio de metodologia, linguagem e ferramentas.	

A nova organização dos postos de trabalho demonstra que será necessário que estas novas competências do trabalhador possibilitem e sejam meio facilitador para acompanhar a complexidade das novas ferramentas tecnológicas, a colaboração entre trabalhadores e para o suporte das novas ferramentas “*Human Machine Interface*” (HMI).

É possível observar que ocorrerá uma alteração dos aspectos da organização do trabalho no que tange à flexibilidade de horários do trabalhador, aspectos relacionados com a capacidade decisória perante a interação do trabalhador com a máquina, cooperação e a integração entre os departamentos facilitando a descoberta de soluções e o entendimento do papel de cada um na nova configuração dos postos de trabalho.

Os processos de produção que utilizam a digitalização requerem trabalhadores que sejam capazes de entender os fundamentos de todas as tecnologias e o processamento de dados. Os trabalhadores precisarão de avaliar se todo esse processo digitalizado funcionará como esperado e deverão ser capazes de interagir e reagir a qualquer exigência ou problema. Além disso conforme exposto ao longo deste trabalho, os produtos e os processos serão cada vez mais projetados através das chamadas realidades virtuais, o que irá requerer habilidades de interação, imersão e envolvimento.

No âmbito da robótica a interação humano-robô será uma grande aplicação da Indústria 4.0. Os sistemas de sensores robóticos tornar-se-ão cada dia mais precisos e robustos. Este caminho

aumenta e possibilita a colaboração entre homens e robôs no futuro, sendo necessário que os trabalhadores sejam treinados para desenvolver soluções criativas, enquanto os robôs executarão todo o trabalho repetitivo e pesado.

As necessidades de múltiplas habilidades e o novo cenário de mudanças no chão de fábrica significam que o desenvolvimento e treino das habilidades citadas ao longo desta dissertação tornar-se-ão mais importantes do que nunca. Os trabalhadores terão que estar ainda mais abertos à mudança, possuir maior flexibilidade para se adaptar a novos escopos e, ambientes organizacionais dinâmicos e a necessidade de aprendizagem interdisciplinar contínua.

Foram avaliadas as competências requeridas, podendo concluir-se que algumas são sempre citadas pelos autores como sendo fundamentais na preparação do trabalhador, tais como: o desenvolvimento de competências cognitivas, a visão técnica complementada por uma capacidade crítica, flexibilidade, criatividade e conhecimento multidisciplinar. A quantidade de trabalhadores que têm a qualificação necessária para responder às necessidades do mercado não acompanha o ritmo de crescimento e avanço da indústria sendo fundamental que todos os aspectos citados sejam desenvolvidos, seja através das chamadas fábricas de aprendizagem, capacitações internas por parte dos empregadores ou aprendizagem prática e teórica nas áreas de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática.

O desenvolvimento da ligação do homem à automação nos sistemas de trabalho oferecerá vantagens para a sustentabilidade social da força de trabalho na Indústria 4.0, em termos de melhoria da excelência operacional, segurança e saúde, satisfação, motivação, inclusão e aprendizagem contínua.

Assim, conclui-se que a Indústria 4.0 se pode traduzir numa oportunidade significativa para que os meios de aprendizagem sejam repensados e alinhados com o novo perfil requerido, sendo bem mais do que apenas tecnologia, mas também um modelo organizacional que deverá valorizar o desenvolvimento dos recursos humanos. Perante um cenário em constante evolução será necessário estar em constante atualização teórica e treinamento, sendo imprescindível estar preparado para gerenciar todas as ferramentas tecnológicas citadas ao longo desta pesquisa.

Como sugestão de pesquisas futuras, recomenda-se um estudo na prática de como os trabalhadores reagem psicologicamente e fisicamente perante a enorme exigência de capacitação e desenvolvimento das capacidades cognitivas. Outro possível estudo futuro poderia passar pela avaliação quantitativa da eficiência do trabalhador na utilização das tecnologias referidas ao longo desta pesquisa. No desenvolvimento da pesquisa bibliográfica verificou-se que

não existem muitos estudos que se foquem na temática das exigências cognitivas, sendo por isso esta uma área de investigação que deverá ser desenvolvida futuramente.

## Referências Bibliográficas

Abraão, J.I. 2001. Conferencia realizada no Departamento de Medicina Preventiva e Social em 27/04/2001 UNB. Brasília,DF.

Ahmad, R., Masse C., Jituri, S., Doucette, J.,Mertiny, P.2018. P.Alberta Learning Factory for training reconfigurable assembly process value stream mapping.

Aires, R.W.A., Kempner-Moreira, F.K., & Freire, P.S. 2017. Indústria 4.0: competências requeridas aos profissionais da quarta revolução industrial. In: Congresso Internacional de Conhecimento e Inovação (CIKI). Anais...: Foz do Iguaçu, UFSC, 7.

Albertin, M.R., Elienesio, M.L.B., Aires, A.S., Pontes, H.L.J., & Aragão Jr, D.P. 2017. Principais inovações tecnológicas da indústria 4.0 e suas aplicações e implicações na manufatura. XXIV Simpósio de Engenharia de Produção. [Online]. Bauru - SP. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/321682376\\_PRINCIPAIS\\_INOVACOES\\_TECNOLOGICAS\\_DA\\_INDUSTRIA\\_40\\_E\\_SUAS\\_APLICACOES\\_E\\_IMPLICACOES\\_NA\\_MANUFATURA](https://www.researchgate.net/publication/321682376_PRINCIPAIS_INOVACOES_TECNOLOGICAS_DA_INDUSTRIA_40_E_SUAS_APLICACOES_E_IMPLICACOES_NA_MANUFATURA). [Acedido 05 Maio 2018].

Amladi, P (Ed.). 2013. Manufacturing wants its jobs back - but can it find the workers? Forbes. [Online]. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/sap/2013/11/25/manufacturing-wants-its-jobs-back-but-can-it-find-the-workers/#1e865694519e>. [Acedido 25 Abril 2018].

Applications of Holonic and Multi-Agent Systems. Praga, República Tcheca: Springer International Publisher, 217 - 229.

Azuma, R. T. 1997. A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 6, 355-385.

Bahrin, M.A.K., Othman, M.F., Nor, N.H., & Azli, M.F.T. 2016. Industry 4.0: A Review on Industrial Automation and Robotic, Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering), eISSN 2180-3722, 137-143.

Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. 2017. Industry 4.0 implications in logistics: an overview. [Online]. Procedia Manufacturing, 13, 1245-1252. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/320343294\\_Industry\\_40\\_implications\\_in\\_logistics\\_an\\_overview](https://www.researchgate.net/publication/320343294_Industry_40_implications_in_logistics_an_overview). [Acedido 10 Abril 2018].

Bekey, G. A. 2005. Autonomous Robots. Massachusetts Institute of Technology Press. [Online]. Disponível em: [http://www.bcmcom.com/solutions\\_application\\_industry40.htm](http://www.bcmcom.com/solutions_application_industry40.htm). [Acedido 12 Maio 2018].

Belluzzo, L. G., & Galípolo, G. (2016) A nova revolução industrial. Valor Econômico. [Online]. Disponível em: <http://www.valor.com.br/opiniao/4762325/nova-revolucao-industrial>. [Acedido 05 Maio 2018].

Braga, M. 2001. Realidade Virtual e Educação. [Online]. Revista de Biologia e Ciências da Terra, 1, 1. Disponível em: <http://www.redalyc.org/pdf/500/50010104.pdf>. [Acedido 19 Abril 2018].

Cannan, J., & Hu, H. 2015. Human-Machine Interaction (HMI): A Survey. [Online]. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/268359638\\_Human-Machine\\_Interaction\\_HMI\\_A\\_Survey](https://www.researchgate.net/publication/268359638_Human-Machine_Interaction_HMI_A_Survey). [Acedido 10 Maio 2018].

- Carmona, A.L.C. 2017. Análise dos impactos da indústria 4.0 na logística empresarial (TCC). Joinville: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Chen, T., & Lin, Y.C. 2017. Feasibility evaluation and optimization of a smart manufacturing system based on 3d printing: a review. *International Journal of Intelligent Systems*, 32, 394-413.
- Coelho, P.M.N. 2016. *Towards Industry 4.0 (Dissertação)*. Portugal: Universidade de Coimbra.
- Cotteleer, M., & Joyce, J. 2014. 3D opportunity: Additive manufacturing paths to performance, innovation, and growth. *Deloitte Review*. [Online]. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/deloitte-review/issue-14/dr14-3d-opportunity.html>. [Acedido 07 Maio 2018].
- Darvish, K., Wanderlingh, F., Bruno, B., Simetti, E., Mastrogiovanni, F., & Casalino, G. 2018. Flexible human-robot cooperation models for assisted shop-floor tasks. *Mechatronics*, 51, 97-114.
- Davenport, T. H.; Prusak, L. 1998. *Conhecimento empresarial: como as organizações gerenciam o seu capital intelectual*. Rio de Janeiro: Campus.
- Davenport, T.T. 2013. *Manpower, The Future of the Manufacturing Workforce*. [Online]. Disponível em: [https://www.manpower.us/Website-File-Pile/Whitepapers/Manpower/Man\\_Future-of-Manufacturing-Workforce\\_021113.pdf](https://www.manpower.us/Website-File-Pile/Whitepapers/Manpower/Man_Future-of-Manufacturing-Workforce_021113.pdf). [Acedido 10 Janeiro 2018].
- Deloitte, 2014. *Industry 4.0 Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies*. [Online]. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>. [Acedido 14 maio 2018]
- Díaz, D. R., Stahre, J., Wuest, T., Noran, O., Bernus, P., Fast-Berglund, Å., & Gorecky, D. 2016. *Towards An Operator 4.0 Typology: A Human-Centric Perspective On The Fourth Industrial Revolution Technologies*. Presented at the CIE46, Tianjin, China.
- Dombrowski, U., & Wagner, T. 2014 *Mental Strain as Field of Action in the 4th Industrial Revolution. Variety Management in Manufacturing. Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems*. Aachen: Procedia CIRP, 17, 100-105.
- Duarte, A.P.S. 1997. *A Economia, Arma da Estratégia*. S.l. : Instituto da Defesa Nacional. Ano XXII, 82.
- Erol S., Jäger, A., Hold, P., Ott, K., Sihm, W., 2016. *Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production*
- Erpenbeck, J., *Handbuch Kompetenzmessung: Erkennen, verstehen und bewerten von Kompetenzen in der betrieblichen, pädagogischen und psychologischen Praxis*, 2nd ed. Schäffer-Poeschel, 2007
- European Commission. 2013. *Contractual public-private partnerships in Horizon 2020. Factories of the Future*. [Online]. Brussels. Disponível em: [http://www.gppq.fct.pt/h2020/\\_docs/brochuras/nmpb/201402\\_contractualppp.pdf](http://www.gppq.fct.pt/h2020/_docs/brochuras/nmpb/201402_contractualppp.pdf). [Acedido 11 Abril 2018].

European Commission. 2016. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions Digitising European Industry. Reaping the full benefits of a Digital Single Market. 2016. [Online]. Brussels. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52016DC0180>. [Acedido 08 Maio 2018].

Eurostat Statistics Explained. Europe 2020 indicators - education. 2017. [Online]. Disponível em: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Europe\\_2020\\_indicators\\_-\\_education](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Europe_2020_indicators_-_education). [Acedido 06 Maio 2018].

Faller, C., & Feldmüller, D. 2015. Industry 4.0 Learning Factory for regional SMEs.

Fernández-Caramés, T.M., & Fraga-Lamas, P. 2018. A Review on Human-Centered IoT-Connected Smart Labels for the Industry 4.0. [Online]. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/324997328\\_A\\_Review\\_on\\_Human-Centered\\_IoT-Connected\\_Smart\\_Labels\\_for\\_the\\_Industry\\_40](https://www.researchgate.net/publication/324997328_A_Review_on_Human-Centered_IoT-Connected_Smart_Labels_for_the_Industry_40). [Acedido 13 Fevereiro 2018].

Francesco, P., Paulo, G., 2017. AURA: An example of collaborative robot for Automotive and General Industry applications.

Freitas, M.M.B.C., Fraga, M.A.F., & Souza, G.P.L. 2016. Logística 4.0: Conceitos e aplicabilidade: Uma pesquisa-ação em uma empresa de tecnologia para o mercado automobilístico. [Online]. Caderno PAIC, 17, 1. Disponível em: <https://cadernopaic.fae.edu/cadernopaic/article/view/214>. [Acedido 02 Maio 2018].

Gatti, B. (2005). Habilidades cognitivas y competencias sociales. *Enunciación*, 10, 123-132.

Gil, A.C. 2010. Métodos e técnicas de pesquisa social. São Paulo: Atlas.

Görür, O.C., Sivrikaya, F., Rosman, B., & Albayrak, S. 2018. Social Cobots: Anticipatory Decision-Making for Collaborative Robots Incorporating Unexpected Human Behaviors. Chicago, EUA.

Hofmann, E., & Rüsçh, M. 2017. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*. Elsevier.

Hozdić, E. 2015. Smart Factory for Industry 4.0: A Review, *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 7, 28-35.

Hugo, K., Markus, H., Mario, K., & Christian, R. 2017. Transition towards an Industry 4.0 State of the LeanLab at Graz University of Technology. *Procedia Manufacturing*, 9, 206-213.

International Federation Of Robotics (IFR). 2016. World Robotics Survey 2016. [Online]. Disponível em: <https://ifr.org/>. [Acedido 02 Abril 2018].

IPédia – Guia da Propriedade Intelectual. (2011). Instituto Pedro Nunes – Associação para a Inovação e Desenvolvimento em Ciência e Tecnologia. [Online]. Disponível em: [https://upin.up.pt/sites/default/files/Manual\\_IPEDIA\\_Ecran.pdf](https://upin.up.pt/sites/default/files/Manual_IPEDIA_Ecran.pdf). [Acedido 02 Maio 2018].

i- SCOOP “Cobots: the rise of the collaborative robot (cobot)-what you need to know.”.2018. Accessed 10.26.17. Disponível em : <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/cobot-collaborative-robot/>. [Acedido em 03 de Junho 2018].

Jang, W. 2015. Identifying 21st century STEM competencies using workplace data.

Jazdi, N. 2014. Cyber Physical Systems in the Context of Industry 4.0. In Miclea, L., Stoian, I (Ed). *Lee International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics*. New York.

Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. 2013. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the industrie 4.0 working group, Frankfurt, Germany.

Karre, H., Hammer, M., Kleindienst, M., Ramsauer, C. 2017. Transition towards an Industry 4.0 State of the LeanLab at Graz University of Technology

Kelly, J.E., & Hamm, E. 2013. *Smart Machines: IBM's Watson and the Era of Cognitive Computing*; Columbia Business School Publishing.

Kimiz, Dalkir. *Knowledge management in theory and practice*. Boston: Elsevier, 2005.

Kolberg, D., & Zühlke, D. 2015. *Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies*.

Kortum, P. 2008. *HCI beyond the GUI: Design for haptic, speech, olfactory, and other nontraditional interfaces*. 1st ed. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann.

Landherr, M., Schneider, U., & Bauernhansl, T. 2016. The Application Centre Industrie 4.0 - Industry-driven manufacturing, research and development, 49th CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP-CMS 2016). *Procedia CIRP*, 57, 26-31.

Lee, E.A. 2008. Cyber physical systems: Design challenges. 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), 363-369.

Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.A. 2015. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manuf. Lett.*, 3, 18-23.

Leyh, C., Bley, K., Bay, L., & Schäffer, T. 2017. The Application of the Maturity Model SIMMI 4.0 in Selected Enterprises. Twenty-third Americas Conference on Information Systems, Boston.

Lorenz, M., Rübmann, M., Strack, R., Lueth, K.L., & Bolle, M. 2015. Man and Machine in Industry 4.0. [Online]. Boston Consulting Group (BCG). Disponível em: [http://englishbulletin.adapt.it/wp-content/uploads/2015/10/BCG\\_Man\\_and\\_Machine\\_in\\_Industry\\_4\\_0\\_Sep\\_2015\\_tcm80-197250.pdf](http://englishbulletin.adapt.it/wp-content/uploads/2015/10/BCG_Man_and_Machine_in_Industry_4_0_Sep_2015_tcm80-197250.pdf). [Acedido 10 Janeiro 2018].

Ma, J., Wang, Q., & Zhao, Z. 2017. SLAE-CPS: Smart Lean Automation Engine Enabled by Cyber-Physical Systems Technologies. *Sensors*, 17, 7, 1500.

Macdougall, W. 2014. Industrie 4.0: smart manufacturing for the future. Germany Trade & Invest [Online]. Berlim, Alemanha, 1-40. Disponível em: [http://www.gtai.de/GTAI/Content/EN/Invest/\\_SharedDocs/Downloads/GTAI/Brochures/Industries/industrie4.0-smart-manufacturing-for-the-future-en.pdf](http://www.gtai.de/GTAI/Content/EN/Invest/_SharedDocs/Downloads/GTAI/Brochures/Industries/industrie4.0-smart-manufacturing-for-the-future-en.pdf). [Acedido 29 Março 2018].

Maslarić, M., Nikoličić, S., & Mirčetić, D. 2016. Logistics Response to the Industry 4.0: the Physical Internet. *Gruyter*. Novi Sad, Servia, 511-517.

Masoni, R., Ferrise, F., Bordegoni, M., Gattullo, M., Uva, A.E., Fiorentino, M., Carrabba, E., & Donato, M. 2017. Supporting remote maintenance in industry 4.0 through augmented reality. [Online]. *Procedia Manufacturing*, 11, 1296 - 1302. Disponível em: [https://ac.els-cdn.com/S2351978917304651/1-s2.0-S2351978917304651-main.pdf?\\_tid=cb5f546f-1f76-49ad-](https://ac.els-cdn.com/S2351978917304651/1-s2.0-S2351978917304651-main.pdf?_tid=cb5f546f-1f76-49ad-)

8841-3fb2e6ed238c&acdnat=1527535957\_7d7ad0346b2187421ca05cb583f1e9fe. [Acedido 02 Maio 2018].

McCarthy, J. 2007. What is Artificial Intelligence? [Online]. Disponível em: <http://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai/whatisai.html>. [Acedido 10 Maio 2018].

McKinsey. 2016. Industry 4.0 at McKinsey's model factories: Get ready for the disruptive wave.

Medeiros, H.B., Aranha, E.H.S., & Nunes, I.D. 2017. Avaliação de Habilidades e Competências Baseada em Evidências e Jogos Digitais. [Online]. VI Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE 2017). VI Jornada de Atualização em Informática na Educação (JAIE 2017). Disponível em: <http://www.br-ie.org/pub/index.php/pie/article/view/7212/5012>. [Acedido 10 Maio 2018].

Meister, J.C. 1998. Ten steps to creating a corporate university

Mell, P.; & Grance, T. 2011. The NIST Definition of Cloud Computing. Computer Security Division Information Technology Laboratory National Institute of Standards and Technology - Estados Unidos da América.

Micro/Nano Soft Biomechanics Laboratory. 2018. Human-Machine Interface. [Online]. Disponível em: <https://sites.google.com/site/yoonearesearchgroup/research/human-machine-interface-hmi>. [Acedido 20 Maio 2017].

Nadais, J. 2017. Artigo de Opinião-Indústria 4.0. Fibrenamics, 14.

Nonaka, V.K., & Krogh, V. 2006. Organizational knowledge creation theory: Evolutionary paths and future advances. [Online]. Sage Journals, 27, 8. Disponível em: <http://www.wipo.int/about-ip/en/>. [Acedido 06 Maio 2018].

Obtiko, M., & Jirkovsky V. 2015. Big Data Semantics in Industry 4.0. Industrial

Pachauri, D., & Yadav, A. 2014. Importance of soft skills in teacher education program. International Journal of Educational Research and Technology, 5, 22e25.

Peshkin, M., & Edward, J. C. 2016. CoBots (invited). Industrial Robot: An International Journal [Online], 26, 5, 335-341. Disponível em: [http://colgate.mech.northwestern.edu/Website\\_Articles/Journals/Peshkin\\_1999\\_Cobots.pdf](http://colgate.mech.northwestern.edu/Website_Articles/Journals/Peshkin_1999_Cobots.pdf). [Acessado em: 12 Abril 2018].

Pestana, H., Chau, F., Gageiro, J., Valente, A., Sousa, J.F., Cândida, M.S., Carneiro, S.R., Santos, D., & Lopes, M. 2015. A Reindustrialização da Economia Portuguesa: Impacto no Emprego, Profissões e Competências.

Pontes, J. 2017. Nanotecnologia, Comunicação Científica e Mundo do trabalho. Working Paper.

Porter, M. 1989. Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior. Tradução de Elizabeth Maria de Pinho Braga. Rio de Janeiro: Elsevier.

Rao, M.S. 2012. *Myths and Truths About Soft Skills*. [Online]. Disponível em: [www.astd.org/TD](http://www.astd.org/TD) [Acedido em 05 de abril de 2018].

- Revista Exame. 2016. "Como será o profissional da indústria 4.0?", Editora Abril, São Paulo, Brasil. [Online]. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/tecnologia/como-sera-o-profissional-da-industria-4-0/>. [Acedido em 06 junho 2018].
- Ribeiro, J.M. 2017. O Conceito da Indústria 4.0 na Confeção: Análise e Implementação (Dissertação). Portugal: Universidade do Minho.
- Romero, D., Bernus, P., Noran, O., Stahre, J., & Fast-Berglund, A. 2016. The Operator 4.0: Human Cyber-Physical Systems & Adaptive Automation towards Human-Automation Symbiosis Work Systems.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. 2015. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. [Online]. Disponível em: [https://www.bcg.com/publications/2015/engineered\\_products\\_project\\_business\\_industry\\_4\\_future\\_productivity\\_growth\\_manufacturing\\_industries.aspx](https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries.aspx). [Acedido 10 Maio 2017].
- Russwurm, S. 2014. Industrie 4.0 - from vision to reality. SIEMENS Industry Sector - Background Information. [Online]. Disponível em: <http://www.siemens.com/press/pool/de/events/2014/industry/2014-04-hannovermesse/background-indutrie40-e.pdf>. [Acedido 10 Abril 2018].
- Sales, M.V.S., & Burnham, T.F. 2015. Cognição e Formação: uma reflexão complexa. *International Journal of Knowledge Engineering and Management*, 3, 65-86.
- Santos, C., Mehraei, A., Barros, A.C., Araújo, M., & Ares, E. 2017. Towards Industry 4.0: an overview of European strategic roadmaps. *Procedia Manufacturing*, 13, 972-979
- Santos, P.R. 2016. Indústria 4.0 - sistemas inteligentes para manufatura do futuro [Online]. Disponível em: <http://www.revistaferramental.com.br/pt/artigos/industria-40-sistemas-inteligentes-para-manufatura-do-futuro/8>. [Acedido 26 Abril 2018].
- Schallock, B., Roland, C.R., & Jochemb, H.K. 2018. Learning Factory for Industry 4.0 to provide future skills beyond technical training.
- Schwab, K., 2016. The Fourth Industrial Revolution by Klaus Schwab. 2016. [Online]. Disponível em: <http://digitalcommons.osgoode.yorku.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=1023&context=thr>. [Acedido 07 Maio 2018].
- Senge, P. M. 2012. A quinta disciplina: arte e prática da organização que aprende. 28 ed. São Paulo.
- Shigunov Neto, A., & Teixeira, A. A. 2006. Sociedade do conhecimento e ciência administrativa: reflexões iniciais sobre a gestão do conhecimento e suas implicações organizacionais. *Perspectivas em Ciência da Informação*, 11, 220-232.
- Silva, C.(2012) Estudo das competências pessoais e interpessoais de acordo com as soft skills e hard skills nos empresários das PMEs, Instituto Superior de Línguas e Administração.
- Silva, M.F. 2010. Como escrever uma monografia: manual de elaboração com exemplos e exercícios. Rio de Janeiro: Atlas.

Stephanie, T., & Manuela, V. 2010. Using Symbiotic Relationships with Humans to Help Robots Overcome Limitations. Workshop on Collaborative Human/AI Control for Interactive Experiences, Toronto, Canada.

Teixeira Filho, J. 2000. Gerenciando Conhecimento: como a empresa pode usar a memória organizacional e a inteligência competitiva no desenvolvimento de negócios. Rio de Janeiro: SENAC.

Thoben, K.D., Wiesner, S., & Wuest, T. 2017. "Industrie 4.0" and Smart Manufacturing- A Review of Research Issues and Application Examples. Int. J. of Automation Technology. [Online]. Disponível em: <https://zenodo.org/record/1002731#.WwxCPUgvzIU>. [Acedido 22 Abril 2018].

Triviños, A. N. S. 1987. Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas.

Tropia, C.E.Z., Silva, P.P., & Dias, A.V.C. 2017. Indústria 4.0: uma caracterização do sistema de produção. [Online]. Altec. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/317475373\\_Industria\\_40\\_uma\\_caracterizacao\\_do\\_sistema\\_de\\_producao](https://www.researchgate.net/publication/317475373_Industria_40_uma_caracterizacao_do_sistema_de_producao). [Acedido 02 Maio 2018].

Tvenge, N., & Martinsen, K. 2018. Integration of digital learning in industry 4.0

Uchihara, M., Murayama, H., Shimoda, S., Sakai, S., Fujimoto, H., & Kimura, H. 2008. Human-Robot Cooperation in Precise Positioning of a Flat Objec. [Online]. 17th IFAC World Congress (IFAC'08), Seoul, Korea. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/ea8b/3b37d1e8c3efba659e8ec595ccea48a73915.pdf>. [Acedido 10 Dezembro 2018].

Vaidya, S., Ambad, P., & Boshle, S.P. 2018. Industry 4.0 - A Glimpse. Procedia Manufacturing. [Online] 20. 233-238. Disponível em: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL\\_STU\(2016\)570007\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL_STU(2016)570007_EN.pdf). [Acedido 05 Maio 2018].

Venâncio A., & Brezinski G. 2017. Sistema de Avaliação de Maturidade Industrial baseando-se nos conceitos da indústria 4.0. (TCC). Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Villas, M. 2017. Inteligência Artificial e a Indústria 4.0. [Online]. Disponível em <http://tiinside.com.br/tiinside/services/27/07/2017/inteligencia-artificial-e-industria-4-0/>. [Acedido em 08 junho 2018]

Vysocky, A., & Novak, P. 2016. Human - Robot Collaboration In Industry. VŠB - TU Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering Department of Robotics, Ostrava, Czech Republic.

Zheng, P., Zhong Y.R., Sang, Z., Liu, Y. 2018. Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives

Wolf, W. 2009. Cyber-Physical Systems

Werner, J.K., Salimian, A.C., Bollinger, R.S., Gordon, R.P., & Swenson, K.A. Safety device for a mechanical motion device. [Online] United States. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/e7/5e/d2/c5355ee161f43d/US20160257005A1.pdf> [Acedido 05 Fevereiro 2018].

Witkowski, K. 2017. Internet of Things, Big Data, Industry 4.0- Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management, 7th International Conference on Engineering, Project, and Production Management. Procedia Engineering, 182, 763-769.

World Economic Forum 2016. Reports of Skills Stability. Disponível em: <http://reports.weforum.org/future-of-jobs-2016/skills-stability/>. [Acedido em 05 abril 2018].