

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO

Marco Antonio Waldemarin Cruz

**O futuro do trabalho e as transformações na qualificação do trabalhador na Indústria
4.0 nos países da OECD**

MESTRADO EM ECONOMIA POLÍTICA

São Paulo

2022

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO

Marco Antonio Waldemarin Cruz

**O futuro do trabalho e as transformações na qualificação do trabalhador na Indústria
4.0 nos países da OECD**

**Dissertação apresentada à Banca
Examinadora da Pontifícia Universidade
Católica de São Paulo, como exigência
parcial para obtenção do título de MESTRE
em Economia Política, sob a orientação da
Prof.^a Dr.^a Anita Kon.**

São Paulo

2022

Autorizo exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta Dissertação de Mestrado por processos de fotocopiadoras ou eletrônicos.

Assinatura: _____

Data: _____

e-mail: _____

Sistemas de Bibliotecas da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo -
Ficha Catalográfica com dados fornecidos pelo autor

C957o Cruz, Marco Antonio Waldemarin
/ Marco Antonio Waldemarin Cruz. -- São Paulo:
[s.n.], 2022.
101p. il. ; cm.

Orientador: Anita Kon.
Dissertação (Mestrado)-- Pontifícia Universidade
Católica de São Paulo, Programa de Estudos Pós
Graduados em Economia .

1. Indústria 4.0. 2. Quarta Revolução Industrial.
3. Qualificação do Trabalhador. 4. Trabalho, emprego
e renda. I. Kon, Anita. II. Pontifícia Universidade
Católica de São Paulo, Programa de Estudos Pós
Graduados em Economia . III. Título.

CDD

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO

Marco Antonio Waldemarin Cruz

**O futuro do trabalho e as transformações na qualificação do trabalhador na Indústria
4.0 nos países da OECD**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de MESTRE em Economia Política.

Aprovado em: __/ __/ ____

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Professora Doutora Anita Kon – PUC-SP

Professor Doutor Antonio Corrêa de Lacerda – PUC-SP

Professor Doutor Francisco Carlos Ribeiro – FATEC Sorocaba

Dedico este trabalho a todos os trabalhadores,
que buscam no trabalho um meio digno de vida.
Em especial a minha querida esposa Adriana
Aparecida Batista Medeiros, que contribuiu
imensamente para a realização deste trabalho.

Agradecimentos Condição de Bolsista

Agradeço imensamente a **Fundação São Paulo (FUNDASP)** pela bolsa de estudos, sem a qual não seria possível a conclusão da pesquisa no Mestrado de Economia Política da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Em especial ao Professor Doutor Rubens Rogério Sawaya Coordenador da Pós-Graduação.

Agradecimentos

Agradeço a Professora Doutora Anita Kon por todo o suporte, sugestões e orientações, sem a qual não seria possível a realização da pesquisa e consequentemente conclusão da dissertação.

Agradeço a banca de qualificação formada pelo Professor Doutor João Batista Pamplona e a Professora Doutora Rosa Maria Marques, pela riqueza de comentários e sugestões, que foram essenciais para a melhoria do desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço aos Professores Doutores do programa de pós-graduação em economia política: Anita Kon; Antonio Corrêa de Lacerda; Áquilas Nogueira Mendes; João Batista Pamplona; Ladislau Dowbor; Mariana Ribeiro Jansen Ferreira; Rosa Maria Marques; Rogério Cesar de Souza e Rubens Rogério Sawaya, pelos debates que elevou o nível da pesquisa.

Agradeço à Sônia Maria Santos, assistente de coordenação, pelo suporte dado durante todo o curso, e também aos colegas de curso que tanto contribuíram.

Gostaria de agradecer a minha adorável esposa Adriana Aparecida Batista Medeiros, pela compreensão, apoio e sugestões durante a pesquisa e desenvolvimento da dissertação.

Agradeço a Jesus Cristo pela energia e determinação quando estas me faltaram.

Resumo

A Quarta Revolução Industrial com as suas tecnologias 4.0, como por exemplo, a IA, a Robótica Avançada, IoT, *Big Data*, trarão mudanças no mercado de trabalho, assim como mudanças na qualificação do trabalhador. Sendo assim, é importante compreender o que significa indústria 4.0, seu surgimento, seu funcionamento e quais as tecnologias envolvidas. Os países desenvolvidos integrantes da OECD estão dominando o desenvolvimento dessas tecnologias e muitas delas ainda se encontram nos laboratórios das universidades e nos centros de pesquisa e desenvolvimento das grandes empresas. Portanto, a discussão central é sobre o futuro do trabalho nos países da OECD, as mudanças na qualificação do trabalhador, o desafio de garantir empregos para todos e políticas públicas que os países desenvolvidos estão traçando para qualificar suas forças de trabalho futura e principalmente os trabalhadores que estão na ativa para que façam, através de treinamentos, a transição de trabalhos e tarefas rotineiras de baixo uso de tecnologias 4.0 para trabalhos e tarefas não rotineiras e de alto uso de tecnologia digital, pois isso poderá resultar na polarização do trabalho entre os trabalhadores e entre países, aliás já está acontecendo. Outro debate importante é sobre a automação dos empregos, pois alguns estudiosos alarmistas falam em destruição completa dos empregos, porém outros autores mais moderados dizem que não haverá destruição de ocupações, mas sim de tarefas realizadas, portanto, as ocupações sofrerão mudanças significativas. E por fim a evolução do mercado de futuro dessas tecnologias 4.0, e as possibilidades de profissões novas e as oportunidades de empregos que elas gerarão.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Habilidades; Tecnologias de Fronteiras; Futuro do Trabalho; Evolução do Mercado Futuro; Automação.

Abstract

The Fourth Industrial Revolution with its 4.0 technologies, such as AI, Advanced Robotics, IoT, Big Data, will bring changes in the job market, as well as changes in worker qualification. Therefore, it is important to understand what industry 4.0 means, its emergence, its functioning and the technologies involved. The developed countries that are part of the OECD are dominating the development of these technologies and many of them are still found in the laboratories of universities and in the research and development centers of large companies. Therefore, the central discussion is about the future of work in OECD countries, changes in worker qualification, the challenge of guaranteeing jobs for all and public policies that developed countries are designing to qualify their future workforce and especially workers. who are active to make, through training, the transition from routine jobs and tasks with low use of 4.0 technologies to non-routine jobs and tasks and high use of digital technology, as this could result in the polarization of work among workers and between countries, in fact it is already happening. Another important debate is about the automation of jobs, as some alarmist scholars speak of complete destruction of jobs, but other more moderate authors say that there will be no destruction of occupations, but of tasks performed, therefore, occupations will undergo significant changes. And finally, the evolution of the future market of these 4.0 technologies, and the possibilities of new professions and the job opportunities they will generate.

Keywords: Industry 4.0; Skills; Border Technologies; Future of Work; Futures Market Evolution; Automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Como a mudança tecnológica e inovação afeta empregos, salários e lucros.....	32
Figura 2 – Fluxo de trabalho antes e depois de IA.....	35
Figura 3 – Principais fornecedores de tecnologia para a indústria 4.0.....	46
Figura 4 – Matriz de classificação das ocupações.....	74
Figura 5 – Mudanças nas tarefas realizadas pelos trabalhadores devido à automação.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativas do tamanho do mercado para tecnologias da indústria 4.0 em US\$ bilhões.....	27
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Conceito das principais tecnologias de fronteira ou indústria 4.0.....	26
Quadro 2 – A mudança promovida pela tecnologia nas cinco principais empresas de informática, software e equipamentos de escritório entre 1995 e 2020.....	33
Quadro 3 – As transformações estimadas da automação dos empregos pelas tecnologias da indústria 4.0, diversas fontes.....	37
Quadro 4 – Tipos de habilidades essenciais para o futuro do trabalho.....	75

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Compartilhamento de funcionários que usam IA por tipo de uso – Dinamarca 2019	41
Gráfico 2 – Emprego por setor econômico amplo, agrupamento de renda (% de emprego) – Luxemburgo, Suíça, Noruega, Suécia, Bolívia, Índia, Ucrânia, Canadá, Japão, Estados Unidos, Brasil, China, México e Rússia (2000-2020).....	42
Gráfico 3 – Emprego por nível de qualificação (% de emprego total), segundo os níveis da média dos países	43
Gráfico 4 – Probabilidade de automação de tarefas nos países da OECD – (2012-2015).....	51
Gráfico 5 – Polarização dos mercados de trabalho nos países da OECD – (1995-2015).....	53
Gráfico 6 – Principais campos de estudo para o trabalho com tecnologias 4.0 (2016).....	56
Gráfico 7 – Nível de treinamento de trabalhadores nos países da OECD, segundo qualificação (2012-2015).....	60
Gráfico 8 – Distribuição de gastos com programas de treinamento entre os países da OECD (2016).....	64
Gráfico 9 – Dispersão dos setores na adoção de tecnologias digitais – países da OECD (2013-2015).....	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

B2B	De Empresa para Empresa
CLP	Controlador Lógico Programável
CIUO	Classificação Internacional Uniforme de Ocupações
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
EUROTAST	Gabinete de Estatística da União Europeia
GIG	Economia Compartilhada
IA	Inteligência Artificial
IPC	<i>Department Industrial Performance Center</i>
IoT	Internet das Coisas
IIoT	Internet das Coisas Industrial
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MOOC	<i>Massive Open Online Courses</i>
MRP	<i>Manufacturing Resource Planning</i>
M2M	<i>Machine to Machine</i>
M2H	<i>Machine to Human</i>
OECD	<i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i>
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
OIT	Organização Internacional do Trabalho
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PIB	Produto Interno Bruto
PMEs	Pequenas e Médias Empresas
SBTC	<i>Skill-Biased Technical Change</i>
RBTC	<i>Routine-Biased Technological Change</i>
TI	<i>Tecnologia da Informação</i>
TIC	<i>Tecnologia da Informação e Comunicação</i>
UE	União Europeia
UNCTAD	<i>United Nations Conference on Trade Development</i>
WEF	<i>World Economic Forum</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. A INDÚSTRIA 4.0	17
2.1. Considerações iniciais	17
2.2. O surgimento da Indústria 4.0	17
2.3. O funcionamento da Indústria 4.0	20
3. TRABALHO, EMPREGO E RENDA NA INDÚSTRIA 4.0.....	29
3.1. Considerações iniciais	29
3.2. Humanos e máquinas: uma visão geral do trabalho, emprego e renda	30
3.3. A evolução do mercado futuro de empregos nas tecnologias 4.0	48
3.4. O desafio de garantir empregos para todos: uma análise para países da OECD ...	51
3.5. Políticas públicas de aprendizagem dos trabalhadores na Indústria 4.0 nos países da OECD	61
4. TRANSFORMAÇÕES NA QUALIFICAÇÃO DO TRABALHADOR NA INDÚSTRIA 4.0	70
4.1. Considerações iniciais	70
4.2. Conceito de qualificação, habilidade e tarefa	70
4.3. As habilidades necessárias para o futuro do trabalho	74
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

1. INTRODUÇÃO

Diariamente nos deparamos com o termo indústria 4.0 ou tecnologias de fronteiras, como a inteligência artificial (IA), a robótica, a internet das coisas (IoT), etc. Essas tecnologias são os resultados da Quarta Revolução Industrial.

As tecnologias da indústria 4.0 podem trazer enormes benefícios para a vida das pessoas. As perspectivas são imensas na agricultura, saúde, educação, energia, indústria manufatureira e outras áreas de desenvolvimento. No entanto, em muitas dessas tecnologias, a sua implantação permanece no nível experimental, ou seja, nos laboratórios das universidades e centros de desenvolvimento e pesquisa de grandes empresas. Também, existe a preocupação de que a automação, a robótica e as outras tecnologias 4.0 destruam empregos e, com isso, o sonho das pessoas de baixa renda em países desenvolvidos e em desenvolvimento de subirem na escala social, o que é uma questão de sobrevivência para muitas pessoas. Há o temor e já está acontecendo, de que o abismo entre as pessoas de alta renda e de baixa renda se amplie, enquanto os benefícios são capturados por poucos com habilidades e capital, o que pode ocasionar uma turbulência no mercado de trabalho, emprego e renda. Alguns pesquisadores pessimistas afirmam que em torno de 50%, enquanto pesquisadores mais moderados afirmam que em torno de 16% dos empregos serão automatizados. Alguns estudos realizados colocam que não serão profissões inteiras, mas tarefas que serão automatizáveis, principalmente aquelas que são rotineiras.

Lidando com os desafios econômicos, sociais e ambientais emergentes, necessitamos de novas ideias, abordagens inovadoras e maiores níveis de cooperação multilateral. A inovação e a digitalização desempenham um papel cada vez mais importante em praticamente todos os setores da economia e na vida diária das pessoas. Como tal, as decisões políticas devem colocar a inovação no centro de suas agendas políticas (OECD; EUROSTAT, 2018). A inovação é mais do que uma nova ideia ou invenção, tendo em vista que, a inovação produtiva requer a efetivação de sua implementação, ou seja, que seja colocada em uso ou disponibilizada para uso por empresas, indivíduos ou organizações. Os impactos econômicos e sociais dependem da difusão e absorção das inovações. Além disso, a inovação é uma atividade dinâmica e abrangente que ocorre em todos os setores da economia. As organizações e indivíduos fazem alterações em produtos ou processos, produzem, coletam e distribuem novos conhecimentos relevantes para a inovação (OECD; EUROSTAT, 2018).

A introdução de avanços tecnológicos consideráveis, caracterizam fases das chamadas Revoluções Industriais e são representadas pela transição de métodos produtivos anteriores, com repercussões na produtividade econômica nas particularidades do trabalho

humano, bem como em relações sociais. Na atualidade, as inovações sob a forma de tecnologias e práticas digitais são difundidas nos processos de negócios, são usados para codificar processos e procedimentos, adicionar funções aos processos existentes e possibilitar a venda de processos como serviços. A implementação de inovações de processos de negócios, portanto, está frequentemente ligada à adoção e modificação de tecnologias digitais. Esta nova onda de transformações digitais define a Quarta Revolução Industrial, representada de forma contundente pelos novos modelos de produção e distribuição econômicas, sob a forma da Indústria 4.0 (OECD; EUROSTAT, 2018).

Portanto, o objetivo desse estudo é entender as transformações econômicas que a indústria 4.0 trará e já está trazendo para a sociedade, trabalho, emprego e renda. Para isso se faz necessário entender seu conceito, funcionamento e evolução.

É importante salientar que essa pesquisa foi realizado com dados e literatura disponível antes da pandemia de Covid-19.

No Capítulo 2, será conceituado a indústria 4.0 abordando seu surgimento, evolução e funcionamento, bem como as tecnologias envolvidas. No Capítulo seguinte, será apresentada uma visão geral do trabalho, emprego e renda na indústria 4.0, a partir do debate da relação recursos humanos-máquina, a perspectiva da evolução do mercado futuro das tecnologias 4.0, seguindo uma análise sobre o desafio de garantir empregos para todos na revolução tecnológica da indústria 4.0 e políticas públicas adotadas pelos países da OECD.

No Capítulo final, serão pesquisadas através da lente da literatura acadêmica atual as transformações na qualificação do trabalhador na indústria 4.0, a partir do entendimento das incumbências dos trabalhadores por meio de tarefas, possibilitadas pelo nível de qualificação da força de trabalho. Na última subseção serão examinadas as transformações nas qualificações dos trabalhadores, tendo em vista as habilidades necessárias para o futuro do trabalho, impactado pela aceleração do novo modelo de Indústria 4.0.

2. A INDÚSTRIA 4.0

2.1. Considerações iniciais

A Quarta Revolução Industrial deu origem às tecnologias da indústria 4.0, como a inteligência artificial, a internet das coisas (IoT), sistemas cibernéticos não humanoides ou robótica avançada, etc. Essas tecnologias mudarão a forma como os trabalhadores irão trabalhar no futuro, o emprego não será mais estável para boa parte dos trabalhadores, que ficarão sujeitos a realizarem várias tarefas para várias empresas, e isso já está acontecendo. Os contratos de trabalho já estão sofrendo ajustes significativos e sofrerão ajustes mais profundos no futuro.

Através de estudos sobre o futuro do trabalho realizados por organismos internacionais como a *World Economic Forum* (WEF), *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD), Banco Mundial, Organização Internacional do Trabalho (OIT) e da *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), há uma grande tendência que a inovação disruptiva ou que a indústria 4.0 modificará muitas tarefas de profissões existentes e até mesmo a sua extinção, porém criará novas profissões para lidar com os novos modelos de negócios originados dessas tecnologias, aliás isso já está acontecendo em muitos países da OECD.

Os organismos internacionais como WEF, OECD, MIT, OIT e Banco Mundial estão realizando estudos sobre a economia do trabalho por conta das mudanças que a indústria 4.0 trará e já está trazendo para vários países. Por isso, a OECD, a *United Nations Conference on Trade Development* (UNCTAD), estão engajados no estudo da indústria 4.0, que se faz necessário para traçar políticas públicas em várias áreas da economia, inclusive no futuro do trabalho e principalmente na qualificação do trabalhador.

Portanto, o objetivo deste capítulo, é conceituar a indústria 4.0, seu surgimento (subseção 2.2), seu funcionamento e as principais tecnologias envolvidas (subseção 2.3).

2.2. O surgimento da Indústria 4.0

O objetivo dessa subseção é compreender qual a origem da Indústria 4.0, o seu funcionamento e as tecnologias 4.0 envolvidas. É primordial para o desenvolvimento sustentável, o aproveitamento dessa nova revolução tecnológica, que exigirá que os países promovam o uso, a adoção e a adaptação das tecnologias de ponta. Com uma abordagem equilibrada para construir uma base industrial robusta para o crescimento econômico do século XXI.

O desenvolvimento humano nas últimas décadas foi acompanhado por rápidas mudanças tecnológicas e uma proliferação crescente de dispositivos e serviços digitalizados. E o ritmo da mudança parece provavelmente acelerar com as tecnologias da indústria 4.0, como a inteligência artificial (AI), robótica avançada não humanoide, a biotecnologia, nanotecnologia, etc.

Para Klaus Schwab (2016), atualmente enfrentamos grandes desafios dessa nova onda tecnológica, que provavelmente implicará na transformação de toda a humanidade, que mudará o modo como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos, portanto as tecnologias da indústria 4.0 são algo diferente de tudo aquilo que já foi experimentado pelo homem. Essas tecnologias já trouxeram enormes benefícios, como por exemplo, o desenvolvimento das vacinas contra a COVID 19 em 2020 com o uso da biotecnologia. Mas os avanços rápidos dessas tecnologias podem ter sérias desvantagens se ultrapassarem a capacidade de adaptação das sociedades, principalmente entre os países de médio e baixo desenvolvimento. Há temores, por exemplo, de que os empregos estejam desaparecendo ou sendo precarizados à medida que mais atividades econômicas são automatizadas e que as mídias sociais estejam exacerbando as divisões, a ansiedade e a dúvida na sociedade. De modo geral, há preocupações de que as tecnologias da indústria 4.0 aumentem ainda mais as desigualdades ou criem novas (UNCTAD, 2021). Por isso se faz necessário saber o surgimento da indústria 4.0 e como essas tecnologias se relacionam e, principalmente como poderá afetar o trabalho, emprego e renda, e quais as mudanças na qualificação do trabalhador.

Diante dos avanços tecnológicos – plataformas digitais – e fazendo uma previsão para os próximos anos o governo alemão lançou o projeto denominado Plataforma Indústria 4.0 (*Plattform Industrie 4.0*) durante a Feira de Hannover em 2011, com o seguinte objetivo:

Desenvolver alta tecnologia de modo a fazer com que os sistemas automatizados que controlam os equipamentos industriais pudessem se comunicar trocando, assim, informações/dados entre máquinas e seres humanos, de forma a otimizar todo o processo de produção (SACOMANO; GONÇALVES; BONILLA, 2018, p. 23).

Como resultado do projeto Plataforma Indústria 4.0 apresentado na Feira de Hannover, que se deu a origem ao termo que hoje conhecemos como indústria 4.0, nome este dado à nova tecnologia que estava sendo desenvolvida – que entre 2011 e 2015 foi amplamente divulgado entre empresas, associações e academias – o governo alemão em 2015 o torna um programa de política industrial (SACOMANO; GONÇALVES; BONILLA, 2018).

Logo após o surgimento do termo na Alemanha e a sua difusão para o mundo, foi organizada pelo *Department Industrial Performance Center (IPC)* da *Massachusetts Institute of Technology* (MIT, 2017), uma mesa redonda intitulada '*Industry 4.0: What is it and What Does it Mean for Firms?*' (Indústria 4.0: o que é e o que significa para as empresas?(tradução nossa)). A mesa foi constituída de vários membros da comunidade de pesquisa do MIT e várias lideranças de empresas dedicadas a manufatura avançada. O grupo chegou a um consenso para a pergunta que envolveu o debate que floresceu o conceito de Indústria 4.0:

[...] que é a geração de enormes quantidades de dados com base na introdução de sensores que podem rastrear todas as fases de um processo de fabricação e de sistemas de produção inteiros, em um ou vários locais (MIT, 2017, p. 1) (tradução nossa).

Para Klaus Schwab (2016) a Indústria 4.0, teve início no século XXI e se baseia na revolução digital. É caracterizada por uma internet coletiva e móvel com a introdução dos smartphones, por sensores menores e poderosos que proporcionam maior controle da produção, associado com a inteligência artificial e aprendizado de máquina, o que torna possível o controle do todo o processo produtivo dentro dos países e entre os países. É o que torna as tecnologias da indústria 4.0, ou com é denominado pela UNCTAD (2021) de tecnologias de fronteiras, fundamentalmente diferente das outras revoluções tecnológica, que é o controle e a interação desses tecnologias entre os meios físicos, digitais e biológicos. Sendo assim, esses avanços tecnológicos permitem a introdução do que está sendo chamado de fábricas inteligentes, que envolvem os meios digitais e físicos de forma que permitam a criação de novos produtos e sua personalização e também, de novos modelos de negócios (OECD; EUROSTAT, 2018).

Diferentemente de alguns acadêmicos e profissionais que acreditam que essas tecnologias são somente um aspecto da terceira revolução industrial, para Klaus Schwab (2016, p.13) a revolução da indústria 4.0 é distinta de todas as outras por três razões:

- **Velocidade:** ao contrário das revoluções industriais anteriores, esta evolui em um ritmo exponencial e não linear. Esse é o resultado do mundo multifacetado e profundamente interconectado em que vivemos; além disso, as novas tecnologias geram outras mais novas e cada vez mais qualificadas;
- **Amplitude e profundidade:** ela tem a revolução digital como base e combina várias tecnologias, levando a mudanças de paradigma sem precedentes da economia, dos negócios, da sociedade e dos indivíduos. A revolução não está modificando apenas “o que” e o “como” fazemos as coisas, mas também “quem” somos; e
- **Impacto sistêmico:** ela envolve a transformação de sistemas inteiros entre países e dentro deles, em empresas, indústrias e em toda a sociedade.

As principais tecnologias da indústria 4.0 citadas por Klaus Schwab (2016) são: Inteligência Artificial (IA), Robótica, Internet das Coisas (IoT), Impressão em 3D ou Manufatura Aditiva, Veículos Autônomos, Nanotecnologia, Biotecnologia, Computação Quântica, Ciência dos Materiais, Armazenamento de Energia, Automação Industrial, Realidade Virtual, Computação em Nuvem, Realidade Aumentada, *Digital Twin*, *Physical Cyber*, *Cybersecurity* e Internet das coisas industriais (IIoT).

Conforme explica a UNCTAD (2021), as principais tecnologias da indústria 4.0 trarão maior tendência de mudanças para a sociedade, trabalho, emprego e renda, inclusive mudanças legais e éticas, na qual a UNCTAD denomina de ‘tecnologias de fronteiras’ são:

inteligência artificial (IA), internet das coisas (IoT), *Big Data*, *blockchain*, 5G, impressão 3D, robótica avançada não humanoide, drone, edição genética, nanotecnologia e energia fotovoltaica.

Assim, a indústria 4.0 é um conjunto de tecnologias que estão sendo desenvolvidas, a partir das já existentes para dar origem a novos produtos industriais e comerciais, por exemplo, os caixas eletrônicos estão sendo substituídos por leitores de barras instalados nos carrinhos de compras, que contabilizam o valor da venda e o consumidor passa o cartão magnético e realiza o pagamento. No setor industrial podemos dar o exemplo de braços robóticos que substituem o homem em serviços de pintura automotiva. Na medida que surgem essas novas combinações é que aparece o fenômeno do desenvolvimento econômico.

Portanto, essas tecnologias transformarão e já estão transformando, profundamente os processos de produção, assim é necessário entender como funciona a indústria 4.0.

2.3. O funcionamento da Indústria 4.0

No início do século XXI, surge a chamada transformação digital, caracterizada pelo uso de computadores e smartphones com conexão à internet e interconectada as já existentes redes sociais surgidas na década de 1990 e, a confluência das mídias tradicionais de comunicações para o formato digital. Portanto, o mercado teria que traçar novas estratégias de marketing para essa nova geração de consumidores digitais. Essas estratégias seriam com base na análise de dados (*Big Data*) e das redes sociais. As empresas de alta tecnologia criam novos modelos de negócios muito inovadores e colocam em xeque os antigos modelos de negócios, como por exemplo: o Uber na área de transporte urbanos, o Alibaba na área do *e-commerce* pela internet, etc. (SACOMANO; GONÇALVES; BONILLA, 2018).

No caso do setor industrial, a base de sustentação já havia sido desenvolvida, com a robótica substituindo trabalhos repetitivos, o Controlador Lógico Programável (CLP) comandando sistemas pneumáticos e hidráulicos, a intranet – rede interna de computadores das indústrias – para controle e comunicação com os diversos departamentos, o desenvolvimento de softwares como o *Enterprise Resource Planning* (ERP) que é um sistema integrado de gestão empresarial em conjunto com o *Manufacturing Resource Planning* (MRP) (STEVAN; LEMA; SANTOS, 2019).

Essas tecnologias exigiram um conjunto de qualificações profissionais, pessoais e dedicação exata – que é o uso da tecnologia de forma personalizada conforme a complexidade do processo industrial – à base de dados e recursos computacionais, não é necessariamente um único software, ou seja, são vários softwares que integra todas as áreas da indústria em uma única plataforma para propósitos de planejamento e controle, do nível executivo ao operacional e do

planejamento de longo prazo da operação do chão de fábrica, que é um dos instrumentos utilizados pela governança corporativa (STEVAN; LEMA; SANTOS, 2019).

Os micros sensores desenvolvidos pela indústria para substituição dos sensores mecânicos elétricos analógicos e com comunicação ao CLPs, esses que se comunicam com as redes interna de computadores propiciaram maior controle do processo de produção, assim como maior previsibilidade de paradas de máquinas para manutenção, proporcionando um planejamento de atividades sem que se perca a meta de produção. Na indústria essa base existente de automação informatizada e uma estratégia voltada à transformação digital fez nascer o conceito de indústria 4.0 (SACOMANO; GONÇALVES; BONILLA, 2018).

Portanto, conceito de indústria 4.0 pode ser definido:

[...] como um sistema produtivo, integrado por computador e dispositivos móveis interligados à internet ou à intranet, que possibilita a programação, gerenciamento, controle, cooperação e interação com o sistema produtivo de qualquer lugar do globo em que haja acesso à internet ou à intranet, buscando, assim, a otimização do sistema e toda a sua rede de valor, ou seja, empresa, fornecedores, clientes, sócios, funcionários e demais stakeholders (SACOMANO; GONÇALVES; BONILLA, 2018, p. 32).

Sendo assim, as tecnologias de fronteiras ou indústria 4.0 geralmente são entendidas como tecnologias novas e em rápido desenvolvimento que aproveitam a digitalização e a conectividade. Essas tecnologias podem trazer mudanças dramáticas na economia e sociedade, bem como no desenvolvimento de outras tecnologias (UNITED NATIONS, 2018).

Assim, a indústria 4.0 promove a integração de tecnologias de informação e de comunicação que permitem alcançar novos patamares de produtividade, flexibilidade, qualidade e gerenciamento, que facilite a geração de novos negócios com novas estratégias para as indústrias (SACOMANO; GONÇALVES; BONILLA, 2018).

Destarte, uma planta utilizando os conceitos e as seguintes tecnologias da indústria 4.0, como o IoT ou IIoT, *Big Data*, IA, micro sensores inteligentes, robótica avançada, poderia funcionar da seguinte maneira: a linha de produção pode ser acionada remotamente pela central de comando e controle que possui um modelo virtual da planta com toda a linha de produção, de modo que qualquer alteração proposta é submetida ao modelo virtual que é analisado através de softwares computacionais (IA e *Big Data*) para garantir que as modificações feitas causem o mínimo possível de problemas para a produção (ALMEIRA, 2019).

Assim, os pedidos são processados automaticamente e o sistema ERP aciona a produção informando todos os dados, materiais e recursos necessários para a produção, portanto será analisado os estoques de matérias primas e a quantidade necessária para a produção e, no caso que haja falta de matérias primas o próprio ERP notifica automaticamente os fornecedores, esses respondem quando podem entregar a matéria prima. Depois, o ERP em conjunto com o MRP traça

o caminho crítico de forma estratégica e passa de forma segura ao cliente a data de entrega do pedido. Caso o sistema ERP identifique a necessidade de manutenção de equipamentos antes ou depois do início da produção esta situação é notificado ao setor de manutenção a necessidade de reparo em tal equipamento, a mesma, via ERP solicita ao setor de ferramentaria as necessidades de peças sobressalentes que viabiliza o prazo de entrega, assim todas essas informações são coletadas via rede computacional, e traça-se uma nova estratégia de produção e entrega do pedido com maior precisão e qualidade, assim aumenta-se a produtividade dos setores de apoio e da própria produção evitando desperdício de tempo e de recursos (STEVAN; LEMA; SANTOS, 2019).

A cada etapa do processo de fabricação os apontamentos feitos automaticamente no chão de fábrica alimentam os bancos de dados na central de controle, e essas informações poderão ser acessadas online pelo cliente para que seja acompanhada e bem como se o pedido está dentro do prazo de entrega negociado entre empresa e cliente. Esse novo modo de trabalhar é denominado na indústria 4.0 de *Cyber Physical System* que compreende a somatória de computação, mais a informação e mais a comunicação, que conectam a linha de produção, compras, vendas, planejamento e controle de produção, fornecedores e clientes (SACOMANO; GONÇALVES; BONILLA, 2018).

O departamento de compras e vendas poderá ser substituídos pela inteligência artificial (IA) e o cliente acessará o portal da empresa e fará o pedido via sistema, esse pedido passará automaticamente para o sistema ERP que analisará todos os recursos necessários para produção dos produtos, e comunicará ao cliente a disponibilidade de produção e o prazo de entrega, caso o cliente concorde será emitido o pedido e a produção começará novamente. Caso o cliente não concorde com o prazo de entrega, será informado o novo prazo pretendido pelo cliente, o sistema analisará novamente e virtualmente fará uma nova estratégia de produção, com alocação dos recursos necessários para produzir, enviará novamente ao cliente e, este aceitando o novo prazo autorizará a realização da produção do pedido, e começa-se tudo novamente a cada novo pedido feito pelos clientes (SACOMANO; GONÇALVES; BONILLA, 2018; STEVAN; LEMA; SANTOS, 2019; ALMEIRA, 2019).

No chão de fábrica as máquinas estão conectadas entre si nas várias estações de trabalho, por exemplo a máquina 1 detecta que entrou na sua produção a operação 10 do produto x, a próxima operação 20 entrará na máquina 2 depois de 2 horas de trabalho na operação 10, assim o sistema aponta na sala de controle que o produto X está sendo executado na máquina 1 e que em 2 horas deverá entrar na máquina 2 para execução da operação 20, então o sistema virtual verificará se a máquina 2 estará pronta para execução da operação 20. Caso a máquina nesse tempo apresente

algum defeito, o sistema apontará que a máquina 2 está parada por defeito e que a operação 20 poderá ser feita na máquina 3, e assim sucessivamente, até atingir a estratégia ideal para a produção do produto x, não deixando acarretar atrasos na entrega para o cliente. Isso tudo feito em questões de minutos ou até segundos (STEVAN; LEMA; SANTOS, 2019).

O sistema notificará os departamentos de apoio (Manutenção e Ferramentaria) da urgência para que tomem as providências necessárias para o conserto e disponibilidade de colocar a máquina em operação novamente. Esse tipo de comunicação é denominado máquina a máquina ou na sigla inglesa *Machine to Machine* (M2M). Esse tipo de sistema também pode ter intervenção humano que é denominado *Machine to Human* (M2H) (SACOMANO; GONÇALVES; BONILLA, 2018).

Ou seja, os gestores da fábrica saberão em tempo real sobre o andamento de todos os pedidos e, se será cumprido o prazo de entrega ao cliente. Portanto, possibilitará ao gestor tomar decisões complexas instantaneamente sem gastar tempo com telefonemas, e-mails e indo até o chão de fábrica para verificar o andamento dos pedidos, assim economizando e otimizando tempo e tornando-os eficientes e eficazes, com um grau de assertividade muito elevada na melhor estratégia de produção (ALMEIRA, 2019).

O pedido sendo finalizado entra no sistema de logística que informa instantaneamente o cliente que o seu pedido foi embarcado e está a caminho, gerando para ele um link de acesso rápido via internet onde se poderá acompanhar o transporte do pedido, sua localização, e até o nome do motorista com foto e número de identificação da transportadora. O pedido sendo entregue no local ao cliente, e quando da assinatura de entrega por parte do cliente, as informações chegam à fábrica e dá como pedido finalizado e faturado. É nesse caso que a tecnologia 5G deverá ser implantada (SACOMANO; GONÇALVES; BONILLA, 2018; STEVAN; LEMA; SANTOS, 2019; ALMEIRA, 2019).

Como a conexão entre os diversos dispositivos de informação com o chão de fábrica é muito flexível, pode-se produzir em larga escala produtos customizados, ou seja, personalizados. Essas fábricas são denominadas como fábricas inteligentes ou *smart factories* (SACOMANO; GONÇALVES; BONILLA, 2018).

Os dados gerados na fábrica, setor produtivo e setor comercial, gerará uma densa quantidade de informações, o que é chamado de *Big Data*, que serão armazenados em um único servidor na matriz da empresa, essa tecnologia se denomina de computação em nuvem ou *cloud computing*, essas informações poderão ser acessadas remotamente por diversas pessoas autorizadas em qualquer lugar do mundo. Apesar de toda a interconectividade e uma gama de informações, não se pode perder de vista que o comando de tudo isso será gerido por humanos. O

executivo de operações deverá ter sensibilidade para que a máquina não se sobreponha ao ser humano, pois a máquina não tem emoções, isso poderia interferir de forma negativa na decisão das estratégias de operações (STEVAN; LEMA; SANTOS, 2019).

Outro setor produtivo da fábrica são os setores de apoio, como o setor de manutenção e de ferramentaria, consistem em dois setores importantes para que os equipamentos, máquinas e dispositivos da produção fiquem funcionando a pleno vapor, ou seja, funcionando o mais próximo possível do original ao seu projeto, garantindo a fabricação de produtos com qualidade, eficiência, sem desperdícios e atendendo aos desejos dos clientes internos e consumidores finais (SACOMANO; GONÇALVES; BONILLA, 2018).

Assim, como deverá funcionar o setor de manutenção dentro do conceito da indústria 4.0? Lembremos que foi mencionado no funcionamento da fábrica que há o centro de controle, onde, visualiza-se toda a cadeia produtiva de forma virtual, também foi comentando que a máquina 2 sofre uma parada e que os sensores avisam ao centro de controle. Nesse centro de controle temos todos os gestores da fábrica para a toma de decisões rápidas, sendo assim, quando a máquina 2 sofre uma parada, o gestor do setor de manutenção é acionado, que aciona sua equipe de engenheiros de automação, mecânicos e eletricitas, a depender de qual foi o motivo da parada, que são profissionais altamente especializados, que de pronta mão levantam o problema da máquina 2 e realizam todo o *checklist* de peças sobressalentes no estoque. Acionam também o setor de ferramentaria que é responsável pela fabricação de peças mecânicas sobressalentes das máquinas da produção (STEVAN; LEMA; SANTOS, 2019).

Os micros sensores alertam em forma de dados o sistema virtual, e apontam quais peças ou componentes das máquinas devem ser trocadas, o estoque confirma se há peças sobressalentes, tendo-as o mecânico solicita através do sistema virtual, e faz a troca. Esse troca como já foi feita em algum tempo do passado e na qual o sistema já está carregado com a informação de tempo de troca, que informa ao centro de controle a data prevista para a entrega da máquina ao setor produtivo (STEVAN; LEMA; SANTOS, 2019).

Caso o sistema de estoque confirme que não há peça sobressalente e que a peça está no setor de ferramentaria ou em algum fornecedor externo, o sistema notificará automaticamente aos gestores e de modo virtual realizará um planejamento de caminho crítico para a entrega das peças sobressalentes ao cliente interno, no caso o setor de manutenção, que somado ao tempo de troca e liberação das máquinas informa aos gestores da produção na sala de controle a data prevista ótima para liberar a máquina ao setor produtivo. Assim, todos os sistemas virtuais da planta fabril estão interligados para fornecer com a máxima exatidão os prazos finais de fabricação dos produtos para o cliente final. Dessa forma, a indústria 4.0 é algo que nunca foi experimentado pela

humanidade, gerando um alto grau de produtividade e de produção em escala, até de produtos personalizados (ALMEIRA, 2019).

Como mencionado anteriormente, caso o sistema de estoque confirme que um peça sobressalente não está disponível, será acionado automaticamente o setor de ferramentaria. Esse setor localizará o pedido feito via sistema pelo setor de manutenção, o próprio sistema informará a situação da fabricação dessa peça e em qual máquina da ferramentaria está sendo feita a operação. O gestor de ferramentaria de modo virtual poderá traçar o melhor método de fabricação e colocará essa estratégia em ação, tendo como meta a prioridade do setor produtivo. Assim, que a peça sobressalente estiver liberada, o sistema indicará ao sistema de manutenção que está pronta. O setor de manutenção então retira a peça da ferramentaria, realiza a troca e libera a máquina para a produção, e assim se completa todo o sistema fabril (SACOMANO; GONÇALVES; BONILLA, 2018; STEVAN; LEMA; SANTOS, 2019; ALMEIRA, 2019).

Por outro lado, as áreas administrativa e comercial, também sofrerão grandes transformações, principalmente pelo uso da inteligência artificial, acarretando a substituição dos postos de trabalho por máquinas inteligentes e softwares de alta complexidade. Essa substituição também ocorrerá dentro das fábricas inteligentes, substituindo trabalho braçal e repetitivo, por um número menor de trabalhadores que devem ser capazes de realizarem tarefas complexas. Não teremos mais operadores de máquinas nos setores de fabricação e sim controladores de produção e monitores de produção que realizaram diversas atividades em diversas máquinas (OECD; EUROSTAT, 2018).

No caso em que uma peça ou componente depender de fornecedores externos, esses também estarão conectados digitalmente com os seus clientes e assim traçam a melhor estratégia, ou seja, o caminho crítico para determinar qual os prazos de entrega das peças ou componentes. Sendo assim, os clientes receberão a informação da data de entrega e se este período satisfaz o seu prazo de liberalização da máquina 2, conseqüentemente a liberalização ao cliente final. Tudo isso será feito de modo virtual, totalmente conectados, inclusive o próprio cliente poderá visualizar remotamente qual a situação de fabricação e entrega da peça que está no fornecedor externo (SACOMANO; GONÇALVES; BONILLA, 2018; STEVAN; LEMA; SANTOS, 2019; ALMEIRA, 2019).

O conceito de indústria 4.0 pode ser usado em outros setores da economia, como no setor de agricultura denominada de agricultura de precisão, no setor de serviços, por exemplo em supermercados inteligentes, redes de fast-food, etc. As tecnologias da indústria 4.0 podem aumentar a produtividade e melhorar os meios de subsistência (RAMALINGAM; HERNANDEZ; MARTIN; FAITH, 2016). A IA, por exemplo, combinada com a robótica pode transformar a

produção e os negócios. A impressão 3D permite uma produção de baixo volume mais rápida e barata e uma prototipagem rápida de novos produtos. Usando essas e outras inovações, as empresas nos países em desenvolvimento e nos desenvolvidos também podem transformar os paradigmas anteriores e avançar com a tecnologia de ponta rapidamente (UNCTAD, 2018b). Apesar de poucos recursos e capacidades de países menos desenvolvidos, muitas empresas e fazendas já estão fazendo isso. Na Nigéria, por exemplo, a IoT está sendo usada para gerar conselhos sobre técnicas agrícolas (CUIPA; RAMANI; SMART; SHETTY, 2018). Na Colômbia, impressoras 3D estão sendo usadas para criar itens de moda, como bonés, pulseiras e vestidos (GRAY; SURI, 2019). Assim, as tecnologias de fronteira ou indústria 4.0, com mais destaque estão conceituadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Conceito das principais tecnologias de fronteira ou indústria 4.0

TECNOLOGIA	DESCRIÇÃO
Inteligência Artificial (IA)	É normalmente definida como a capacidade de uma máquina de se envolver em atividades cognitivas normalmente realizadas pelo cérebro humano. Implementações de IA que se concentram em tarefas estreitas estão amplamente disponíveis hoje, usadas por exemplo, na recomendação do que comprar online, para assistentes virtuais em smartphones e para detectar spam ou detecção de fraude de cartão de crédito. Novas implementações de IA são baseadas em aprendizado de máquina e aproveitamento de <i>big data</i> .
Internet das Coisas (IoT)	Refere-se a uma miríade de dispositivos físicos habilitados para a Internet que coletam e compartilham dados. Existe um grande número de potenciais aplicações. Os campos típicos incluem dispositivos vestíveis, casas inteligentes, saúde, cidades inteligentes e automação industrial.
Cloud Computing	É um modelo de serviço que fornece aos clientes acesso flexível e sob demanda, a uma variedade de recursos de computação.
Big Data	Refere-se a conjuntos de dados cujo tamanho ou tipo está além da capacidade das estruturas de banco de dados tradicionais de capturar, gerenciar e processar. Os computadores podem, portanto, acessar dados que tradicionalmente estão inacessíveis ou inutilizáveis.
Blockchain	Refere a uma série de registros de dados com data e hora imutável, supervisionados por um cluster de computadores que não pertencem a nenhuma entidade única. Blockchain serve como a tecnologia de base para criptomoedas, permitindo transações ponto a ponto que são abertas, seguras e rápidas.
5G	As redes 5G são a próxima geração de conectividade à Internet móvel, oferecendo velocidades de download de cerca de 1-10 Gbps (4G é cerca de 100 Mbps), bem como conexões mais confiáveis em smartphones e outros dispositivos.
Computing Power	É a agregação de poder de processamento para fornecer um desempenho muito superior do que seria possível com um computador comum.
3D Printing	A impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva, produz objetos tridimensionais baseados em um arquivo digital. A impressão 3D pode criar objetos complexos usando menos material do que a manufatura tradicional.
Robótica	Os robôs são máquinas programáveis que podem realizar ações e interagir com o ambiente por meio de sensores e atuadores de forma autônoma ou semiautônoma. Eles podem assumir várias formas: robôs de resposta a desastres, robôs de consumo, robôs industriais, robôs militares / de segurança e veículos autônomos.
Drones	Um drone, também conhecido como veículo aéreo não tripulado (UAV) ou sistemas de aeronaves não tripuladas (UAS), é um robô voador que pode ser controlado remotamente ou voar de forma autônoma usando software com sensores e GPS. Drones têm sido freqüentemente usados para fins militares, mas também têm uso civil, como em videografia, agricultura e em serviços de entrega.
Edição de Genes	A edição de genes, também conhecida como edição de genoma, é uma ferramenta de engenharia genética para inserir, excluir ou modificar o genoma em organismos. As aplicações potenciais incluem culturas tolerantes à seca ou novos antibióticos.
Nanotecnologia	A nanotecnologia é um campo da ciência e tecnologia aplicada que lida com a fabricação de objetos em escalas menores que 1 micrômetro. A nanotecnologia é usada para produzir uma ampla gama de produtos úteis, como produtos farmacêuticos, polímeros comerciais e revestimentos de proteção. Ele também pode ser usado para projetar layouts de chips de computador.
Energia Solar fotovoltaica	A tecnologia solar fotovoltaica (Solar PV) transforma a luz solar em eletricidade de corrente direta usando semicondutores dentro das células fotovoltaicas. Além de ser uma tecnologia de energia renovável, a energia solar fotovoltaica pode ser usada em sistemas de energia fora da rede, potencialmente reduzindo os custos de eletricidade e aumentando o acesso.

Fonte: Adaptado de UNCTAD (2021, p. 17) – (tradução nossa)

Atualmente o mundo está chegando ao final da fase de implantação da ‘Era das TICs’ e iniciando a fase de instalação de um novo paradigma tecnológico, envolvendo as tecnologias de fronteira (UNCTAD, 2021), também denominada de Indústria 4.0 (SCHWAB, 2016). Como a Indústria 4.0 afetará o mercado de trabalho entre os países? Muito dependerá se os países estão alcançando, avançando ou ficando para trás, o que por sua vez, dependerá de suas políticas nacionais e de seu envolvimento no comércio internacional.

De acordo com algumas estimativas, as tecnologias de ponta já representam um mercado de US\$ 350 bilhões e em 2025 pode crescer para mais de US\$ 3.2 trilhões, conforme a Tabela 1. Para colocar isso em perspectiva, o mercado global atual de laptops é da ordem de US\$ 102 bilhões e de smartphones é de US\$ 522 bilhões (FROESE, 2018). Algumas estimativas para tecnologias da indústria 4.0 podem ser superestimada e também pode haver uma contagem dupla considerável, por exemplo na IoT, que também é baseada em IA e *Big Data*, mas os analistas tem expectativas grandes de crescimento do mercado (MARKETSANDMARKETS, 2018).

Entre as tecnologias de fronteira ou da indústria 4.0, a maior em receita de mercado é a IoT. Em 2018, as vendas totalizaram US\$ 130 bilhões (FROESE, 2018), e nos próximos cinco anos podem crescer para US\$ 1,5 trilhões – o que é cerca da metade das receitas de tecnologia de ponta (LUETH, 2018). Isso ocorre porque a IoT cobre uma vasta gama de dispositivos: em 2017 já havia mais dispositivos de IoT em uso do que pessoas na terra, cerca de 8,4 bilhões. Outra área de expansão futura é a internet das coisas industriais (IIoT), que usa vários dispositivos interconectados para várias formas de fabricação, como por exemplo, nas fábricas da *Airbus* e *Boeing* no futuro, ou armazenamento da *Amazon*, ou para uso de tratores autônomos (BUNTZ, 2020). A Tabela 1, apresenta uma série de estimativas de diversos pesquisadores, sobre os tamanhos de mercado de diversas tecnologias 4.0 e sua evolução até 2025.

Tabela 1 – Estimativas do tamanho do mercado para as tecnologias da indústria 4.0 em US\$ bilhões

Tecnologias	Estimativa de Mercado 2018 (US\$ bilhões)	Estimativa de Mercado 2025 (US\$ bilhões)
Internet da Coisas (IoT)	130	1,500
Drones	69	141
Energia fotovoltaica	54	344
<i>Big Data</i>	32	157
Robótica	32	499
Inteligência Artificial (IA)	16	191
Impressão 3D	10	44
Edição de Genes	3,7	9,7
Nanotecnologia	1	2,2
<i>Blockchain</i>	0,7	61
5G	0,6	277
Total	\$350 bilhões	\$3,2 trilhões

Fonte: FROESE (2018), MARKETSANDMARKETS (2018), SAWANT; KAKADE (2018), BUSINESS WIRE (2019), CHAUDHARY; HARIHARAN; PRASAD (2019), GLOBENEWSWIRE (2019), MARKETSANDMARKETS (2019), MARKETWATCH (2019a; 2019b), RAZA (2019), TEWARI; BAUL (2019), WAGNER (2019), MORDOR INTELLIGENCE (2020) – (Elaboração própria)

O mercado de robótica também deve se expandir rapidamente, de US\$ 32 bilhões em 2018 para US\$ 499 bilhões em 2025 (MORDOR INTELLIGENCE, 2020; WAGNER, 2019). Do lado da oferta, esse crescimento é impulsionado principalmente por melhorias técnicas

contínuas e pelo desenvolvimento de robôs de autoprogramação habilitados por IA (MORDOR INTELLIGENCE, 2020). Pelo lado da demanda, o crescimento virá do uso de robôs na fabricação em larga escala de embalagens e na indústria automobilística. Mas, mesmo algumas pequenas e médias empresas que estão enfrentando custos de mão de obra mais caros ou não conseguem recrutar trabalhadores qualificados suficientes, portanto, estão adotando robôs industriais (MARKETWATCH, 2019c).

Outro mercado em expansão é o da energia fotovoltaica. Em 2018, as receitas do mercado foram de US\$ 55 bilhões e em 2025 pode chegar a US\$ 334 bilhões (CHAUDHARY; HARIHARAN; PRASAD, 2019). Isso é impulsionado pelo aumento da demanda de energia, regulamentação governamental favorável e uma mudança em direção ao consumo sustentável que tem incentivado ao uso de energia renovável (FORTUNE BUSINESS INSIGHTS, 2019). Conforme indicado na Tabela 1, provavelmente haverá um rápido crescimento semelhante em outras tecnologias da indústria 4.0 (MORDOR INTELLIGENCE, 2020).

Diante do exposto, como ficará o futuro do trabalho, emprego e renda na indústria 4.0? É o que será debatido no Capítulo 3.

3. TRABALHO, EMPREGO E RENDA NA INDÚSTRIA 4.0

3.1. Considerações iniciais

Como apresentado, na década de 2000, surgiu o novo paradigma dominante do trabalho que seria uma série de transações entre o trabalhador e a empresa, ou seja, uma relação de trabalho mais autônomo, do que uma relação duradoura. As inovações tecnológicas aceleraram bastante essa tendência (PINK, 2001).

Sob o contexto das mudanças tecnológicas, a economia sob demanda, que envolve atividades econômicas de empresas que agrupam em plataformas online seu nicho de serviços e passam a fornecê-los sob sua marca, está alterando de maneira bastante básica a relação com o trabalho e o tecido econômico e social, no qual ele está inserido. Mais empregadores estão usando conhecimentos específicos para que os serviços e tarefas sejam feitas na esfera produtiva. Os exercícios profissionais são separados em obrigações e projetos distintos, elas são lançadas em uma nuvem virtual de potenciais trabalhadores, localizados em qualquer parte do mundo (SCHWAB, 2016). Essa é a nova economia sob demanda, em que parte dos trabalhadores não são mais empregados no sentido tradicional, mas são trabalhadores bastante independentes que realizam tarefas específicas, em forma de economia compartilhada (GIG), entre outras formas de produção (DE STEFANO, 2015).

O conceito de trabalho, dentro da economia do trabalho, pode ser entendido, conforme Kon (2016, p. 3): *“como a forma na qual os homens se organizam para produzir bens e serviços necessários para a sobrevivência humana.”* Esse conceito tem raízes históricas. As sucessivas ondas tecnológicas do passado trouxeram turbulências nos mercados de trabalho. Dessa forma, essa nova onda tecnológica da indústria 4.0 ou tecnologias de fronteiras, também estão acarretando novas turbulências nos mercados de trabalho, como vivenciado na atualidade (UNCTAD, 2021).

Essa nova onda tecnológica é diferente de todas as outras, no sentido que, as anteriores substituíram tarefas repetitivas realizadas pela força de trabalho, tornando o processo produtivo mais automatizáveis, enquanto a nova onda da indústria 4.0 substitui a força de trabalho por máquinas inteligentes, substituindo tarefas cognitivas que, até então, só eram realizados por humanos (KON, 2020). Assim, como as velhas ondas tecnológicas destruíram empregos e criaram novos, nesse sentido, também já ocorre esse fenômeno na adoção da indústria 4.0, o que muda é a velocidade com que essas inovações tecnológicas vem sendo implementadas, superando a capacidade da sociedade em acompanhá-la (OECD; EUROSTAT, 2018).

Porém, muitas dessas tecnologias ainda estão em fase de protótipos e testes. Portanto, é necessário pesquisar quais as tendências gerais que as tecnologias da indústria 4.0 trará de mudanças no trabalho, emprego e renda.

3.2. Humanos e máquinas: uma visão geral do trabalho, emprego e renda

Esta subseção explorará a mudança que as tecnologias da indústria 4.0 ou de fronteiras, trará para o trabalho, emprego e renda. Os impactos das mudanças tecnológicas atuais não são diferentes das mudanças tecnológicas anteriores. Hoje, as maiores preocupações dessas mudanças estão relacionadas ao risco de: (i) automação de postos de trabalho em larga escala; (ii) polarização do trabalho; (iii) a economia compartilhada (GIG) e a redução dos direitos trabalhistas; (iv) as desigualdades criadas pela concentração de mercado e lucro; e (v) aumento da desigualdade impulsionada pelas tecnologias da indústria 4.0, aumentando as lacunas tecnológicas (UNITED NATIONS, 2018).

Os países em desenvolvimento enfrentam desafios específicos como: (i) mudanças demográficas; (ii) lacunas tecnológicas existentes; (iii) baixa diversificação econômica; (iv) mecanismo de financiamento fraco; e (v) direitos estritos de propriedade intelectual. Para se beneficiar das tecnologias de ponta, os países precisam promover seu uso, adoção e adaptação, ao mesmo tempo em que tratam de seus efeitos potenciais adversos (UNCTAD, 2021).

Portanto, se faz necessário a discussão de quais são as mudanças que a indústria 4.0 ou de fronteiras trarão ao mercado de trabalho, emprego e renda, e as consequências para as desigualdades dentro e entre países (UNCTAD, 2018a). Em muitos aspectos, as novas tecnologias da indústria 4.0 têm efeitos semelhantes aos das inovações tecnológicas das eras anteriores. Essas tecnologias têm grande potencial para atender às necessidades existentes, aumentar a produtividade e melhorar os meios de subsistência, e podem desempenhar um papel essencial no desenvolvimento econômico (RAMALINGAM; HERNANDEZ; MARTIN; FAITH, 2016).

Como mencionado, o risco é que as tecnologias da indústria 4.0 possam causar desordem nos mercados de trabalho. Uma visão padrão tem sido que as inovações de processos aumentem a produtividade e, portanto, destroem empregos, enquanto inovações de produtos geram novos mercados e, portanto, geram empregos. Também existe a possibilidade de que tecnologias de fronteiras ou da indústria 4.0 reduzam o trabalho na produção, reduzindo assim o incentivo para os países desenvolvidos construírem filiais de suas matrizes em países de economias menos desenvolvidas, deixando de gerar trabalho nessas economias menos industrializadas. Na China, por exemplo, isso poderia atrasar ou desacelerar a mudança de indústrias mais tradicionais, como

roupas, calçados e eletrônicos de baixa tecnologia, para países menos industrializados da Ásia, da África e América do Sul (UNITED NATIONS, 2019).

Além disso, embora as tecnologias da indústria 4.0 ou de fronteiras ofereçam uma janela de oportunidades para países em desenvolvimento para acelerar o crescimento econômico, também podem ampliar as lacunas tecnológicas entre os países, tornando ainda mais difícil para os países menos industrializados recuperar o atraso, diversificar suas economias e criar mais empregos (UNCTAD, 2021). Dependerá muito, no entanto, da gama de indústrias que pode crescer dentro do país ou atrair mais empresas para um país, o que por sua vez depende da promoção estratégica de novos setores, investimentos em pessoas e infraestrutura, bem como em seus ambientes de negócios e sistemas regulatórios (UNITED NATIONS, 2019).

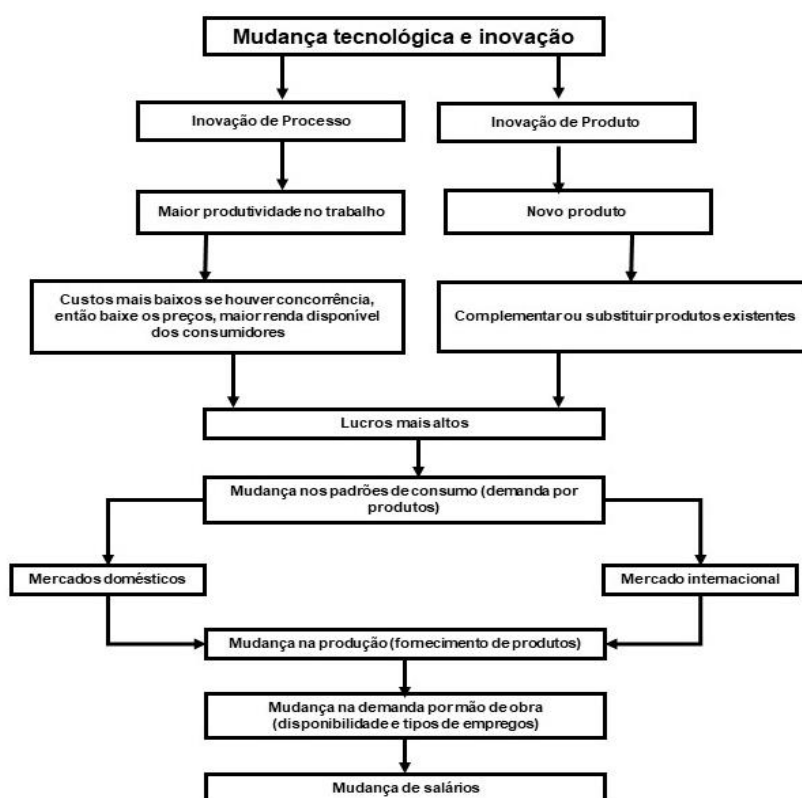
As tecnologias da indústria 4.0 ou de fronteiras podem mudar a forma como as pessoas trabalham e produzem bens e serviços, mudando assim o modo como a riqueza é criada e distribuída (AUERSWALD, 2010). Em reações em cadeia longa por meio da economia, a mudança tecnológica cria, destrói e transforma empregos, produzindo vencedores e perdedores (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2016). O comércio internacional pode transmitir essas mudanças entre os países. A mudança tecnológica também afeta salários e lucros, o que, por sua vez, amplia as lacunas dentro e entre os assalariados e os proprietários de capital, conforme mostra a Figura 1 (VAN REENEN, 2011).

A desigualdade de renda resultante entre as pessoas pode ser vista como um composto de várias disparidades, principalmente entre os ricos e pobres, onde poucos tem muito e muitos tem pouco (BARTH; BRYSON; DAVIS; FREEMAN, 2016). Abrem-se lacunas de renda entre os desempregados e os empregados, e também entre os demais tipos de trabalhadores, devido a diferenças em habilidades, bem como entre empresas e setores. No nível internacional as desigualdades podem surgir devido as diferenças nas estruturas econômicas, em como cada setor contribui para o emprego e a capacidade produtiva e, portanto, para a produtividade e renda média (HARTMANN; GUEVARA; JARA-FIGUEROA; ARISTARAN; HIDALGO, 2017).

Desigualdades de renda, também surgem entre os assalariados e os proprietários de capital. Além de pagar salários, as empresas distribuem lucros aos investidores por meio de dividendos e, alguns casos, remuneram trabalhadores de colarinho branco com capital (JUHN; MURPHY; PIERCE, 1993). No entanto, estas diferenças muito dependem das estruturas sociais e econômicas prevalentes, como diferentes grupos da sociedade negociam as divisões de poder e que níveis de desigualdades eles irão tolerar. A desigualdade de todas as formas sempre muda como resultado de uma infinidade de fatores, dos quais a mudança tecnológica é apenas uma delas (MUELLER; OUIMET; SIMINTZI, 2017).

Como se observa na Figura 1, a dinâmica interna da estrutura produtiva das empresas é consideravelmente impactada pela mudança tecnológica associada à natureza da inovação digital, repercutindo em todas as fases do processo produtivo e distributivo, refletindo-se também nos padrões de consumo que geram a demanda nacional e internacional. Da mesma forma repercutem na demanda de mão de obra, nos salários nos vários setores produtivos, bem como nos lucros.

Figura 1 – Como a mudança tecnológica e inovação afeta empregos, salários e lucros



Fonte: Adaptado de UNCTAD (2021, p. 35) – (tradução nossa)

Nesse sentido, as políticas trabalhistas dos diferentes países atuam visando a diminuição das desigualdades causadas pelos efeitos de liberação de mão de obra e dos reflexos negativos sobre os salários. A Suécia, por exemplo, tem acordos coletivos de salários que reduzem a margem para variações nos salários entre as empresas (AKERMAN; HELPMAN; ITSKHOKI; MUENDLER; REDDING, 2013). Os Estados Unidos, por outro lado, têm menos negociações coletivas e, entre 1978 e 2013, estima-se que dois terços do aumento da disparidade nos rendimentos era devida a diferenças entre as empresas (SONG; PRICE; GUVENEN; BLOOM; VON WACHTER, 2019).

Disparidades de renda não são inerentemente prejudiciais (WELCH, 1999). Alguns diferenciais de salários ajudam a realocar talentos para atividades mais produtivas (ANDERSSON; FREEDMAN; HALTIWANGER; LANE; SHAW, 2009). Da mesma forma, se os empreendedores virem da perspectiva de maiores lucros, eles têm um incentivo para inovar (SCHUMPETER, 1997). Por exemplo, a indústria de serviços em informática, software e equipamentos de escritório entre 1995 e 2019, viu grandes mudanças na classificação das empresas impulsionadas principalmente pela inovação tecnológica, as empresas classificadas em 2020, provavelmente pagam melhores salários ocasionando maiores disparidades de renda, conforme mostra o Quadro 2. E, uma vez que a maioria dos retornos sociais da inovação tecnológica são capturados pelos consumidores, por meio de produtos novos e aprimorados, mais opções e preços mais baixos, a sociedade como um todo deveria estar em melhor situação. Além disso, algumas dessas disparidades podem ser apenas temporárias, especialmente aquelas entre as empresas (JANTTI; JENKINS, 2015).

Quadro 2 – A mudança promovida pela tecnologia nas cinco principais empresas de serviços de informática, software e equipamentos de escritório entre 1995 e 2020

	1995	2000	2010	2020
1	International Business Machines Corporation	International Business Machines Corporation	Hewlett-Packard Company	Apple
2	Fujitsu Limited	Hewlett-Packard Company	Microsoft Corporation	Microsoft
3	Hewlett-Packard Company	Fujitsu Limited	Dell Inc.	Dell Technologies
4	Canon Inc.	Compag Computer Corporation	Fujitsu Limited	HP
5	Digital Equipment Corporation	Dell Computer Corporation	NEC Corporation	Lenovo Group

Fonte: GLOBAL 500 (2020) – (Elaboração própria)

A inovação tecnológica 4.0 trará, portanto, como visto, uma mudança nos empregos, salários e lucros, mas a sua magnitude e rigidez dependerão de muitos fatores, tais como: (i) estrutura produtiva; (ii) composição demográfica; (iii) níveis de desenvolvimento; (iv) políticas sociais; e (v) econômicas.

Como as tecnologias de fronteira ou da indústria 4.0 tornam os processos descritos acima diferentes do passado? Em princípio, não há diferença. Disparidades semelhantes já ocorreram antes. Cada revolução tecnológica teve seus vencedores e seus perdedores, exigindo que as sociedades criassem novas instituições para distribuir a riqueza de maneira mais uniforme e restabelecer a coesão social. No entanto, cada onda de mudança tecnológica cria diferentes formas de desigualdades e problemas distintos, que os formuladores de políticas e instituições precisam resolver para garantir resultados sustentáveis (FREEMAN, 2011).

Na atualidade, uma das principais preocupações são as mudanças que a IA, a robótica avançada, o *Big Data*, IoT e IIoT causarão nos mercados de trabalho. Em particular, há temores de que essas tecnologias irão substituir empregos de média qualificação e encorajar o crescimento da economia de GIG, ou seja, a economia compartilhada, que é quando empresas e empregadores optam por contratar funcionários independentes (*freelancers*) em vez de contratar funcionários em período integral, que está associada com baixos salários e insegurança social (SCHWAB, 2016). Eles também, podem aumentar as disparidades entre empresas e setores, concentrando os lucros dessas tecnologias em algumas empresas dominantes (WRIGHT, 2019). Uma preocupação para os países em desenvolvimento é o risco do aumento das lacunas tecnológicas entre os países e aumento da desigualdade global (ERNST; MEROLA; SAMAN, 2019).

Desde o início da revolução industrial de 1760, os trabalhadores esperavam que as novas tecnologias destruíssem empregos. Isso geralmente acontecia, uma vez que a nova tecnologia tende a criar muito mais empregos e de diferentes tipos e, destruir empregos que se tornavam obsoletos, porém a velocidade de destruição era menor e as instituições tinham capacidade de dar resposta rápida à sociedade. Mas, algumas pesquisas mostram que a situação poderá ser diferente para as tecnologias da indústria 4.0, por que as mudanças são tão rápidas que podem ultrapassar a capacidade de resposta das sociedades (KAPELIUSHNIKOV, 2019).

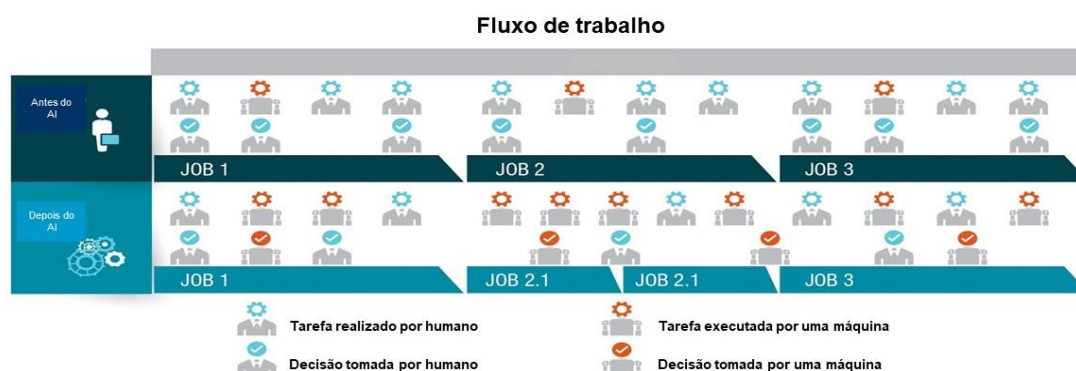
Anteriormente, muitos trabalhos eram considerados seguros porque era difícil ensinar os computadores a executá-los, como a coleta de produtos nas prateleiras do almoxarifado, que hoje são realizados por robôs (ABU-MOSTAFA, 2012). Agora, por meio do aprendizado de máquina, os computadores podem ser programados para realizar algumas tarefas, como por exemplo, atendimento automático ao cliente através da IA. A inteligência artificial, também pode usar a modelagem e muitos dados para fazer previsões que imitam a inteligência humana. Isso altera a natureza das tarefas, aumentando ou reduzindo o número de tarefas que uma pessoa executa (GHAHRAMANI, 2015). Alguns empregos provavelmente desaparecerão, mas outros surgirão, como aqueles que exigem empatia, inventividade e julgamentos éticos que precisam ser feitos por humanos (AGRAWAL; GANS; GOLDFARB, 2018).

Isso é ilustrado esquematicamente na Figura 2, que mostra um fluxo de trabalho hipotético para três postos de trabalhos nos quais as tarefas são executadas em sequência, aqueles por humanos em azul escuro e aqueles por máquinas em azul claro. Tarefas que exigem decisões estão associadas à inteligência humana, como fazer previsões com base em dados e conhecimento prévio. Antes da IA, essas decisões eram difíceis de automatizar. Neste caso, após a IA, o número de empregos aumenta, mas com uma distribuição diferentes de tarefas (job 1), enquanto no posto

de trabalho (job 3) antes da IA mais tarefas e decisões serão realizadas por humanos, enquanto depois da IA (job 3) muda significativamente (ACEMOGLU; RESTREPO, 2019).

Há um debate considerável sobre o ritmo e a mudança tecnológica, ou seja, que o futuro do trabalho não se resolverá por si mesmo. O mundo industrializado está passando por um rápido crescimento do emprego, foi o que afirmou uma reportagem de capa de maio de 2019 na revista *The Economist*, em que, a maior parte do mundo rico está desfrutando de uma explosão de empregos de alcance sem precedentes (UNCTAD, 2021).

Figura 2 – Fluxo de trabalho antes e depois da IA



Fonte: Adaptado de UNCTAD (2021, p. 38) – (Tradução nossa)

No entanto, as pessoas nos países altamente industrializados estão pessimistas quanto ao futuro do trabalho. Em 2018, a *Pew Research Center* (PWC) descobriu que entre 65 e 90 por cento dos entrevistados em economias desenvolvidas acreditam que robôs e computadores provavelmente ou definitivamente assumirão muitos trabalhos atuais feitos por humanos (FREY; OSBORNE, 2017).

A possibilidade de que as máquinas eliminem empregos não é má notícia se essas tecnologias proporcionarem padrões de vida mais elevados para partes dos trabalhadores. Mas, a pesquisa da PWC (2018) deixa claro que os cidadãos não esperam se beneficiar, a maioria das pessoas acredita que a automação vai exacerbar a desigualdade entre ricos e pobres, ao mesmo tempo que tornará mais difícil encontrar empregos. Menos de um terço dos entrevistados acredita que surgirão novos empregos com melhores salários.

Porque, após uma década (2010-2019) de crescimento do emprego nos países desenvolvidos, as pessoas estão pessimistas sobre as perspectivas de emprego? Uma possibilidade é que a avalanche de artigos de jornais, livros e relatórios de especialistas alarmistas sobre o ‘fim do trabalho’ tenha sobrecarregado os fatos (UNCTAD, 2021).

Alternativamente, os cidadãos podem temer que a introdução de novas tecnologias com capacidades semelhantes às humanas gere enorme riqueza para uma minoria, enquanto diminui as oportunidades, a mobilidade ascendente e a prosperidade compartilhada para o restante das pessoas (UNCTAD, 2019). Há muitas razões para se preocupar se os avanços tecnológicos vão melhorar ou corroer as perspectivas de emprego e renda para a maior parte da força de trabalho. As últimas quatro décadas da história econômica dos países industrializados revelam uma desconexão surpreendente entre o aumento da produtividade e a estagnação das rendas de grandes frações da força de trabalho. Os desafios não são apenas poucos empregos em relação às necessidades de absorção da força de trabalho, mas, também são a qualidade e a acessibilidade dos empregos que vão existir e as trajetórias de carreira que eles oferecem aos trabalhadores, especialmente aos que têm menos educação formal (UNCTAD, 2018a).

Tecnologias novas e emergentes aumentarão a produção econômica agregada e impulsionarão a riqueza das nações, segundo estudos da OECD. Consequentemente, elas podem oferecer o potencial para parte dos cidadãos alcançarem padrões de vida mais elevados, melhores condições de trabalho, maior segurança econômica e melhores condições de saúde e longevidade (UNCTAD, 2019).

Mas, se as nações e suas populações vão realizar esse potencial, depende das instituições, governos, investimento social, educação, leis e liderança pública e privada, para transformar a riqueza agregada em maior prosperidade compartilhada em vez de aumentar a desigualdade. Ao implementar políticas perspicazes para investir em seus cidadãos, proteger e transferir os trabalhadores para essa nova tecnologia, e moldar não apenas a velocidade, mas também a direção da inovação tecnológica, as nações podem cultivar essa oportunidade histórica para gerar prosperidade amplamente compartilhada. Essas oportunidades estão ao nosso alcance, mas estão longe de ser inevitáveis. Portanto, o futuro do trabalho não se resolverá por si mesmo (UNCTAD, 2018a).

Alguns analistas alertam sobre a desordem generalizada do mercado de trabalho, e até mesmo ameaças à existência humana (SUSSKIND, 2020). Estudos mais conservadores, geralmente de especialistas em tecnologias específicas, são cautelosos quanto a superestimar os efeitos no curto prazo e subestimar os de longo prazo (BROOKS, 2017; AUTOR; MINDELL; REYNOLDS, 2020).

A maioria das avaliações das mudanças que a IA, da automação e de outras tecnologias 4.0, representarão nos empregos se concentrou nas economias desenvolvidas. Algumas estimativas sugerem que nos próximos 20 anos, na Europa e nos Estados Unidos de 30 a 50 por cento dos empregos poderiam ser automatizados, conforme Quadro 3 (FREY;

OSBORNE, 2017; MANYIKA et al., 2017; PWC, 2018). Outros tem a perspectiva de uma mudança mais modesta, como de 8 a 14 por cento nos empregos (ARNTZ; GREGORY; ZIERAHN, 2017; NEDELKOSKA; QUINTINI, 2018; POULIAKAS, 2018; CONE; LAMBERT, 2019). Além disso, devido ao desequilíbrio de gênero de empregos, mulheres e homens serão afetados de maneiras diferentes (BRUSSEVICH, 2018; MADGAVKAR et al., 2019).

Quadro 3 – As transformações estimadas de automação dos empregos pelas tecnologias da indústria 4.0, diversas fontes

Mudança Estimada	Prazo	Fontes
47 por cento do emprego total nos Estados Unidos corre alto risco de ser automatizado	10 – 20 anos	FREY; OSBORNE, (2017)*
9 por cento do emprego total nos Estados Unidos e 21 países da OECD correm alto risco de serem automatizados	10 – 20 anos	ARNTZ; GREGORY; ZIERAHN, (2017)*
50 por cento das atividades de trabalho de hoje em todo o mundo poderiam ser automatizadas	Até 2055	MANYIKA et al., (2017)*
14 por cento dos empregos para 32 países da OECD são altamente automatizáveis com uma probabilidade de automação de mais de 70 por cento, enquanto outros 32 por cento dos empregos têm um risco entre 50 por cento e 70 por cento	10 – 20 anos	NEDELKOSKA; QUINTINI, (2018)*
14 por cento dos empregos da UE enfrentam um risco muito alto de automação	10 – 20 anos	POULIAKAS, (2018)*
30 por cento dos empregos estão em risco de automação e 44 por cento dos empregos de trabalhadores com baixa escolaridade estão em risco de automação	Três ondas: início e final da década de 2020 e meados da década de 2030	PWC, (2018)*
8,5 por cento da força de trabalho de manufatura global, principalmente em regiões de baixa renda de grandes economias, pode se tornar redundante devido a robôs industriais	Até 20 anos	CONE; LAMBERT, (2019)*

Fonte: FREY; OSBORNE (2017), ARNTZ; GREGORY; ZIERAHN (2017); MANYIKA et al. (2017), NEDELKOSKA; QUINTINI (2018), POULIAKAS (2018), PWC (2018), CONE; LAMBERT (2019) – (Elaboração própria, tradução nossa)

As grandes diferenças nas estimativas refletem diferentes metodologias e premissas. Alguns estudos exageram nas mudanças ao presumir a automação não apenas em tarefas específicas, mas em ocupações inteiras (FREY; OSBORNE, 2017). Essa distinção entre ocupações (que é o conjunto de trabalhos, cujas tarefas principais são definidos por um grau de similaridade alto) e tarefas (que é definido como uma atividade que cria bens e serviços) é crítica, pois mesmo ocupações com alto risco de automação podem realizar tarefas que são difíceis de automatizar.

Outros estudos enfocam as tarefas (ARNTZ; GREGORY; ZIERAHN, 2017; NEDELKOSKA; QUINTINI, 2018). Eles tentam identificar aquelas que são automatizáveis e, então, avalia quais as proporções dos empregos atuais são compostas por essas tarefas. Um problema de abordagem é que é difícil estimar como a IA e as outras tecnologias 4.0 se

desenvolverão no futuro e quais tarefas elas poderão substituir. Por exemplo, no início dos anos 2000, pensava-se que dirigir um carro seria muito difícil para a IA, agora, a IA visa carro autônomos, ou seja, carros sem motorista. (AUTOR; LEVY; MURNANE, 2000).

Outro desafio dessa abordagem centrada em tarefas é que ela não leva em consideração os ajustes dos trabalhadores, como novas qualificações e os custos para se fazer novos treinamentos, ao assumir novas tarefas complementares às novas tecnologias. Como resultado, o conteúdo de uma ocupação mudará com o tempo, mesmo que seu nome permaneça o mesmo. Assim, espera-se que um jornalista não apenas colete informações, mas, também as insira no sistema de computador para publicação, assumindo algumas das tarefas anteriormente realizadas por um redator (NEDELKOSKA; QUINTINI, 2018).

No entanto, o principal problema com as previsões baseadas na ocupação e na tarefa é que elas se baseiam apenas na viabilidade tecnológica. Elas não consideram os fatores econômicos, como a forma que a demanda por empregos mudará devido aos avanços tecnológicos e o fato de que a economia criará ocupações inteiramente novas. Muito depende dos preços relativos, o capital pode não substituir o trabalho mesmo quando é tecnologicamente viável, enquanto outros efeitos macroeconômicos podem aumentar a demanda geral de trabalho. Nem tais previsões consideram a aceitação social da automação. Por exemplo, parte do trabalho de uma enfermeira pode ser suscetível à automação, mas esta opção pode ser rejeitada porque um benefício importante do tratamento hospitalar é a interação humana (ARNTZ; GREGORY; ZIERAHN, 2017).

Outra abordagem se propõe a avaliar a potencial transformação das tecnologias de fronteiras nos empregos usando modelos econômicos (ACEMOGLU; RESTREPO, 2020). Em vez de prever o número de empregos que podem desaparecer, eles procuram entender os canais de mudanças da automação nos empregos e tarefas, e os efeitos da demanda por habilidades ou qualificações (DOSI; PIVA; VIRGILLITO; VIVARELLI, 2019). No entanto, sua aplicação para países em desenvolvimento é limitada porque eles não consideram a potencial mudança que as tecnologias 4.0 terão nos empregos por meio das transformações nos padrões de comércio (FRANK et al., 2019).

Portanto, o relatório da UNCTAD (2018) – *‘Harnessing Frontier Technologies for Sustainable Development’* – conclui que a mudança da automação no mercado de trabalho provavelmente dependerá menos de sua viabilidade tecnológica do que de sua viabilidade econômica. Recentemente, os especialistas mudaram as suas visões, de um cenário apocalíptico para previsões mais otimistas (SCOTT, 2020; HARFORD, 2020), embora as perspectivas pessimistas sejam ainda comuns (ANDERSON, 2019).

Outra preocupação para os países em desenvolvimento é que as multinacionais poderiam concentrar tecnologias da IA, robôs e impressão 3D e outras, fechando as filiais em outros países e passando a produzir em suas matrizes (*reshoring*) nos países desenvolvidos. Um estudo na Suécia descobriu que uma das motivações mais fortes para o *reshoring* para empresas de manufatura suecas foi o aumento do grau de automação (ENGSTROM; HILLETOFT; ERIKSSON; SOLLANDER, 2018). Mas, a viabilidade de *reshoring* depende de muitos outros fatores, incluindo propriedade e a escala de produção e sua posição na cadeia de abastecimento. Para as indústrias de vestuários e calçados, por exemplo, pode ser mais útil manter a produção próximo às fontes de matérias primas. Um estudo recente de Mattos et al. (2020) descobriu que o risco de deslocamento e remanejamento de empregos era exagerado para o setor de vestuário, dadas as realidades do chão de fábrica. Também, pode fazer menos sentido resgatar de países em desenvolvimento que têm populações crescentes e classes médias em expansão que oferecem mercados em crescimento.

Outro aspecto do impacto dos avanços tecnológicos no mundo do trabalho é a polarização de empregos. A polarização de empregos refere-se a uma expansão de empregos de alto e baixo salário combinados com uma contração de empregos de salário médio. Este fenômeno não é novo, foi documentado em muitas economias avançadas desde a década de 1970 (DUSTMANN; LUDSTECK; SCHONBERG, 2009), e já está acontecendo tanto em economias avançadas como em grande parte dos países em desenvolvimento (DAS; HILGENSTOCK, 2018).

A polarização se intensificou em países desenvolvidos, à medida que tarefas cognitivas qualificadas são cada vez mais feitas por computadores. As ocupações com salários mais altos tendem a se beneficiar mais porque usam computadores com mais intensidade do que as com salários mais baixos. Essas ocupações absorvem continuamente as tarefas de outras profissões, por exemplo, quando um gerente começa a reservar sua própria viagem em vez de depender de um assistente (ACEMOGLU; AUTOR, 2011).

A informatização reduz a demanda por empregos de salário médio, como os de escriturários que realizam tarefas rotineiras (BESSEN, 2015). Até agora, houve pouca mudança na demanda por muitas das tarefas manuais de menor qualificação, mais isso parece estar definido para mudar como maior uso da IA, robôs e outras tecnologias da indústria 4.0 (KING; HAMMOND; HARRINGTON, 2017; VERMEULEN; PYKA; OMEROVIV, 2017). Um estudo baseado em dados sobre a adoção de robôs industriais em 17 países descobriu que o aumento do uso de robôs reduziu a parcela de empregos de trabalhadores pouco qualificados (GRAETZ; MICHAELS, 2018). Além disso, robôs cada vez mais capazes e software de IA colocarão mais

pressão sobre os trabalhadores que executam tarefas rotineiras, manuais e cognitivas, como por exemplo, de catadores de morango a radiologistas (GUILFORD-BLAKE, 2020).

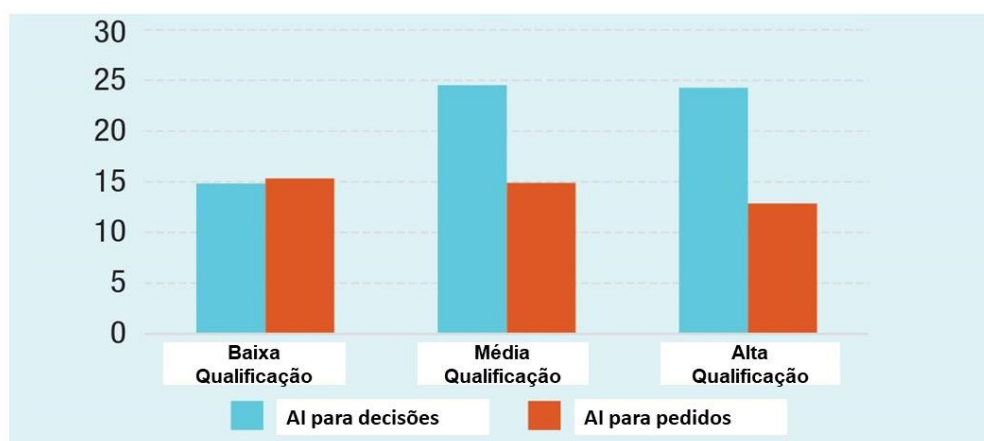
A automação também pode afetar a qualidade do emprego, tornando-o mais interessante para trabalhadores altamente qualificados e mais monótono para trabalhadores pouco qualificados. Os sistemas de automação também podem tornar os trabalhos de alta qualificação mais exigentes e de resolução de problemas mais complexos. Em contraste, trabalhadores pouco qualificados são mais propensos a receber ordens ou instruções geradas automaticamente por um sistema de automação por IA (GJERDING; HOLM; LORENZ; STAMHUS, 2020).

Uma pesquisa recente examinou diferenças no uso de sistemas de automação (IA) por trabalhadores na Dinamarca e descobriu que trabalhadores altamente qualificados tendem a usar informações compiladas automaticamente pelos sistemas de IA para tomar decisões ou aconselhar clientes, uma das primeiras pesquisas mundiais sobre o uso da IA no trabalho e as habilidades dos funcionários foi realizada em 2019 pela IKE, *Aalborg University Business School*, da Dinamarca. O estudo foi realizado examinando dois usos da IA. O primeiro é quando os funcionários usam as informações compiladas pelo sistema de IA para ajudá-los a tomar decisões ou aconselhar clientes. Isso corresponde à ideia de que os sistemas de IA podem aprimorar habilidades dos funcionários, fornecendo informações úteis para futuras tomadas de decisões. O segundo é quando os funcionários apenas recebem ordens ou instruções geradas automaticamente pelo sistema de IA (GJERDING; HOLM; LORENZ; STAMHUS, 2020).

A pesquisa descobriu que cerca de um quarto de todos os funcionários usavam IA em um ou outro dos dois tipos de uso, pelo menos uma vez por mês. Contudo, os trabalhadores altamente qualificados eram mais propensos a usar a primeira forma. Conforme indicado no Gráfico 1, enquanto uma proporção semelhante de todas as três categorias de trabalhadores usavam IA para receber pedidos, uma proporção muito maior de trabalhadores de média e alta qualificação usavam a IA como apoio para tomada de decisões (GJERDING; HOLM; LORENZ; STAMHUS, 2020).

O estudo também descobriu que o uso de IA para tomada de decisão aumentou a complexidade das tarefas de resolução de problemas complexos e, portanto, tornou o trabalho mais exigente e interessante, enquanto, apenas receber instruções geradas por IA tende a tornar o trabalho mais repetitivo. O estudo mostra a importância nos países desenvolvidos, da reformulação do sistema de educação e treinamento para melhor preparar os alunos para a vida profissional (GJERDING; HOLM; LORENZ; STAMHUS, 2020).

Gráfico 1 – Compartilhamento de funcionários que usam IA por tipo de uso – Dinamarca (2019)



Fonte: Adaptado de UNCTAD (2021, p. 41) – (tradução nossa)

Nem toda polarização de empregos pode ser atribuída à mudança tecnológica. Na economias avançadas, a polarização do emprego tem ocorrido durante o período de globalização e a mudança do emprego da indústria para serviços (BARANY; SIEGEL, 2019). Na Suécia, por exemplo, as décadas de 1970 e 1980 foram períodos de grande polarização de empregos, mas um estudo concluiu que isso não se devia a mudanças tecnológicas, mas sim da entrada da China no comércio internacional (ADERMON; GUSTAVSSON, 2015).

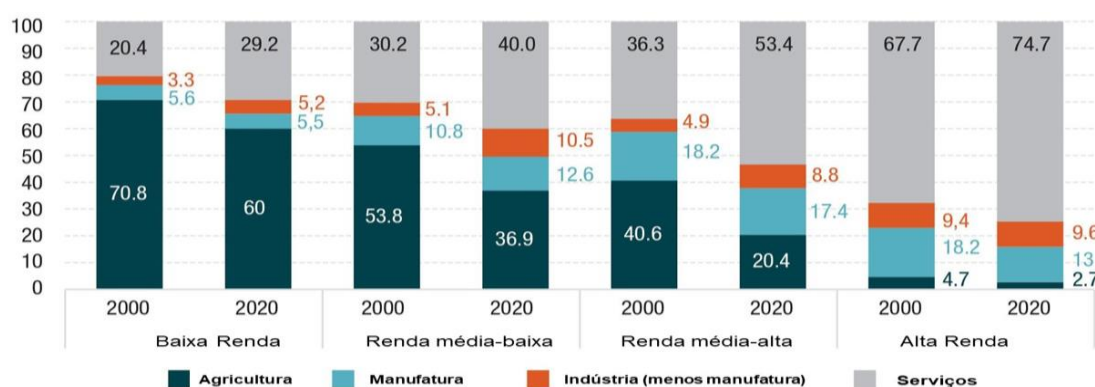
Conforme mostra o Gráfico 2, no período de 2000-2020, os países de baixa renda em 2000 representou 70,8% e em 2020 representou 60% de empregos no setor agrícola indicando uma migração para o setor de serviço e indústria com 29,2% (2020) e 5,2% (2020), respectivamente. Nos países de alta renda o setor de serviços que representava 67,7% (2000) passou para 74,7% (2020), havendo uma leve diminuição dos empregos no setor agrícola de 2% de 2000 em relação a 2020, o setor de manufatura houve uma queda de 18,2% em 2000 para 13% em 2020 e no setor da indústria permaneceu quase constante com um leve aumento de 0,2% de 2000 para 2020.

Nos países de renda média-baixa o setor agrícola houve uma queda de 53,8% em 2000 para 36,9%, enquanto o setor de serviços houve uma aumento de 31,2% em 2000 para 40% em 2020, o setor de manufatura ocorreu um leve aumento de empregos de 10,8% em 2000 para 12,6% em 2020, já o setor de indústria praticamente dobrou em 2000 de 5,1% para 10,5% em 2020.

Nos países de renda média-alta, houve uma diminuição dos empregos de 40,6% em 2000 para 20,4% em 2020, o setor de serviços houve um aumento de 17,1% de 2000 para 2020, ou seja, 36,3% em 2000 para 53,4% em 2020, o setor de da indústria quase dobrou na participação

de empregos, passou de 4,9% em 2000 para 8,8% em 2020, o setor de manufatura houve uma pequena queda na participação de empregos de 18,2% em 2000 para 17,4% em 2020. Nota-se que os países de renda baixa em relação aos países de alta renda uma diferença de renda, pois sabe-se que o setor agrícola o salário pago é muito baixo em relação aos setores de manufatura e serviços, conforme mostra o Gráfico 2.

Gráfico 2 – Emprego por setor econômico amplo, agrupamento de renda (% do emprego total) – Luxemburgo, Suíça, Noruega, Suécia, Bolívia, Índia, Ucrânia, Canadá, Japão, Estados Unidos, Brasil, China, México e Rússia (2000-2020)



Fonte: Extraído de UNCTAD (2021, p. 42) – (tradução nossa)

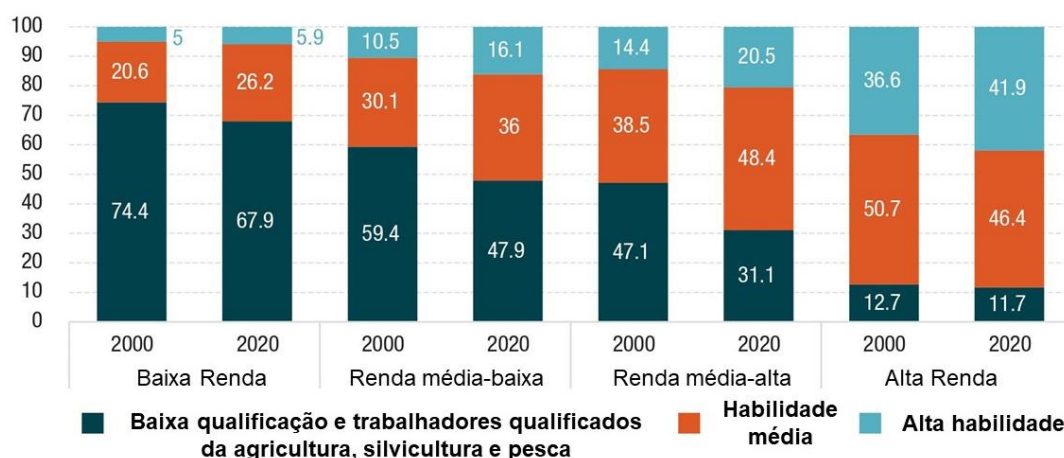
Portanto, pode-se inferir que nos países de baixa-renda o setor de agricultura é o que emprega mais, ou seja, a sua economia não é tão diversificada. Já nos países de renda média-baixa há uma pequena diversificação da economia, sendo que houve de 2000 para 2020 uma redução de empregos no setor agrícola e aumentos consideráveis no setor manufatureiro e de serviços. Nos países de renda média-alta houve uma diversificação da economia gerando mais empregos nos setores de serviços e no setor manufatureiro, o que pode caracterizar a adoção de tecnologias 4.0. Os países de alta renda o setor de serviços é o que mais aumentou, sendo caracterizado pela acentuada adoção de tecnologias 4.0 que geram empregos mais sofisticados e também um grande motivo possa ser a transferência do setor de manufatura para os países em desenvolvimento, principalmente no continente asiático, como China e Índia.

No mesmo período, tem havido uma tendência para empregos com maior qualificação. Conforme mostra o Gráfico 3, em países de renda média-alta e alta, a maior parte do trabalho é em empregos de média qualificação, com um aumento considerável nos empregos de alta qualificação. No grupo de países de renda média-baixa, no entanto, viram uma expansão das ocupações de alta qualificação. Apenas os países de alta renda tiveram redução para trabalhadores de média qualificação. Nos países de renda baixa a maior parte dos empregos são de baixa

qualificação e média qualificação, já os de alta qualificação representa uma parcela muito seleta. Nos países de renda média-baixa, os empregos são na maioria de baixa qualificação, porém teve um aumento expressivo de empregos de média e alta qualificação, caracterizando um pequeno avanço na adoção de novas tecnologias (BARANY; SIEGEL, 2019).

Parte da polarização de empregos durante este período foi causada pela automação, mas muito também terá sido resultado do comércio e da competição internacional, principalmente com a entrada da China e Índia no comércio internacional. Um estudo de polarização de empregos na Dinamarca entre 1999 e 2009 sugeriu que a principal causa era a competição de importação, por meio de ajustes de nível de trabalho, com os trabalhadores altamente qualificados terminaram em empregos de alta remuneração, enquanto os trabalhadores menos qualificados terminaram em empregos de baixa qualificação e baixos salários (KELLER; UTAR, 2016). Os trabalhadores mais afetados eram aqueles que realizavam tarefas manuais, independentemente de sua rotina (GJERDING; HOLM; LORENZ; STAMHUS, 2020).

Gráfico 3 – Emprego por nível de qualificação (% de emprego civil total), segundo os níveis da média dos países: Luxemburgo, Suíça, Noruega, Suécia, Bolívia, Índia, Ucrânia, Canadá, Japão, Estados Unidos, Brasil, China, México e Rússia (2000-2020)



Fonte: Extraído de UNCTAD (2021, p. 42) – (tradução nossa)

Outro estudo, na Alemanha em 2017, descobriu que o declínio no emprego industrial foi mais acentuado nos setores que competem com a importação do que nos setores orientados para a exportação. No entanto, os pesquisadores descobriram que os empregos industriais foram mantidos devido ao aumento do comércio com a China e a Europa Oriental. Além disso, o aumento dos serviços foi causado pela entrada de pessoas no mercado de trabalho, sejam jovens ou regressadas do não emprego (DAUTH; FINDEISEN; SUEDEKUM, 2017).

O ajuste nos mercados locais de trabalho devido à competição de importação pode ser lento. Um estudo sobre os efeitos da China como uma potência industrial nos mercados de trabalho locais dos Estados Unidos em 2016, constatou que nas cidades mais afetadas, os salários e as taxas de participação na força de trabalho às vezes permaneceram baixos, e as taxas de desemprego permaneceram altas, mais de uma década após o início do choque comercial da China (AUTOR; DORN; HANSON, 2016).

A mudança tecnológica está, portanto, ligada com mudanças estruturais e o comércio internacional. Os países de baixa e média renda estão provavelmente menos expostos aos potenciais efeitos negativos das tecnologias de fronteiras, como IA e robôs, na polarização do emprego.

Outra mudança importante no trabalho, emprego e renda se refere à economia GIG – que é um novo conceito de economia que envolve novos tipos de relações de trabalho e que atende às necessidades, tanto dos clientes, quanto de quem está em busca de novas fontes de renda – e consequentemente à erosão dos direitos trabalhistas, ou seja, o trabalho será de má qualidade. As tecnologias de fronteira ou da indústria 4.0 estão sendo usadas para fornecer serviços por meio de plataformas digitais que estimulam a criação de uma economia GIG (DE STEFANO, 2015). Parte desse trabalho de GIG é baseada em localização, como por exemplo, fornecida pelo *Uber* e *Airbnb* (UNCTAD, 2017). Mas, também inclui trabalho em nuvem, que são tarefas que podem ser realizadas em qualquer lugar via internet, como por meio de *Amazon Mechanical Turk* e *CrowdFlower*. O último pode incluir legendas de imagens e limpeza de dados que podem então ser usados por algoritmos de IA (GRAY; SURI, 2019b). Há, portanto, oportunidades para pessoas em muitos países em desenvolvimento ganharem dinheiro, ao mesmo tempo que desenvolvem novas habilidades e ingressam em redes profissionais globais (HAO, 2019).

Embora, a economia de GIG proporcione trabalho, isso geralmente ocorre em termos instáveis, criando uma classe precária de contratados dependentes e trabalhadores sob demanda (UNCTAD, 2019). Esses trabalhadores geralmente têm menos direitos trabalhistas e menos poder de negociação do que os empregados assalariados e podem ser mal pagos com pouca proteção social (ILO, 2018c). Esse emprego também concorre com ocupações tradicionais mais seguras, como por exemplo, motoristas de táxi e trabalhadores de hotéis (UNCTAD, 2018a).

Não é muito claro qual a mudança da economia GIG sobre a desigualdade de renda. Muito dependerá se os trabalhadores são de baixa renda que, de outra forma, estariam desempregadas, ou pessoas de classe média em busca de uma pequena renda adicional. A desigualdade também aumentará se esses empregos substituírem os mais bem pagos ou de tempo integral por empregos de meio período (UNCTAD, 2021).

Se as ocupações de serviços são negociáveis no mercado de trabalho global, esses salários podem convergir. Isso aconteceu com a codificação de computadores, por exemplo, e design digital, bem como em diagnósticos médicos, avaliações paralegais e reconhecimento de imagem. Qualquer pessoa com acesso à internet e as habilidades certas pode ingressar em um mercado de trabalho global. Mas, em nível nacional, as mudanças sobre as desigualdades é mais ambíguo porque o trabalho negociável é geralmente para qualificações de baixa ou média renda. As pessoas que ganham mais, como banqueiros, advogados e médicos, provavelmente estarão protegidas pela regulamentação do mercado, ou no caso de executivos e profissionais de negócios, porque já operam em um mercado global de talentos (UNCTAD, 2021).

A economia de GIG também pode aumentar a desigualdade de gênero. Uma pesquisa da OIT sobre plataformas digitais mostra que, em média, as mulheres representam apenas uma em cada três trabalhadores, e nos países em desenvolvimento apenas uma em cada cinco trabalhadores (UNCTAD, 2018c). Outro estudo descobriu que, embora as mulheres trabalhem nas plataformas por mais horas do que os homens, elas ganham apenas cerca de dois terços dos homens (BARZILAY; BEN-DAVID, 2016).

Essas novas plataformas digitais se beneficiam dos efeitos de rede, de modo que os mercados tendem a se concentrar, deixando um pequeno número de empresas muito grande. Isso poderia aumentar as desigualdades dentro dos setores, entre empresas e entre capital e trabalho. Com menos concorrentes, há menos incentivo para reduzir os preços, os lucros maiores podem aumentar a desigualdade entre os assalariados e os proprietários do capital. E para algumas habilidades de TI, essas empresas podem se tornar quase as únicas empregadoras, ou seja, um monopólio (UNCTAD, 2019).

A Figura 3, mostra que os principais fornecedores de tecnologias 4.0, estão concentrados (em azul) nos Estados Unidos e na Europa, Japão e Coreia do Sul (em cinza escuro). A China (em vermelho) possui poucos fornecedores de tecnologias 4.0, ela é fornecedora principalmente de tecnologias 5G, energia solar e drones. Observa-se também, que os Estados Unidos a maior concentração de empresas fornecedoras de AI, IoT, *Big Data*, *Blockchain* e impressoras 3D. Enquanto a Europa, Japão e Coreia do Sul concentram as empresas fornecedoras de 5G e principalmente de Robótica.

Por outro lado, observa-se que com poucas empresas, há também a tentação de conluio tácito, que é a formação por um grupo de companhias que agem de maneira implícita, coordenando as suas produções e ações baseadas nas reações das outras empresas (CALVANO; CALZOLARI; DENICOLO; PASTORELLO, 2019). Isso pode acontecer involuntariamente, dada a extensão da troca de dados de empresa para empresa (B2B) por meio de algoritmos. Esta é uma

nova área de pesquisa com muitas perguntas sem respostas (VAN UYTSEL, 2018). Alguns pesquisadores argumentam que o conluio algorítmico é mais difícil de alcançar do que os estudiosos do direito supõem (SCHWALBE, 2018).

Figura 3 – Principais fornecedores de tecnologia para a indústria 4.0

AI	IoT	Big data	Blockchain	5G
Alphabet	Alphabet	Alphabet	Alibaba	Ericsson
Amazon	Amazon	Amazon Web Services	Amazon Web Services	Huawei (network)
Apple	Cisco	Dell Technologies	IBM	Nokia
IBM	IBM	HP Enterprise	Microsoft	ZTE
Microsoft	Microsoft	IBM	Oracle	Huawei (chip)
	Oracle	Microsoft	SAP	Intel
	PTC	Oracle		MediaTek
	Salesforce	SAP		Qualcomm
	SAP	Splunk		Samsung Electronics
		Teradata		

3D printing	Robotics	Drones	Gene editing	Nanotechnology	Solar PV
3D Systems	ABB	3D Robotics	CRISPR Therapeutics	BASF	Jinko Solar
ExOne Company	FANUC	DJI Innovations	Editas Medicine	Apeel Sciences	JA Solar
HP	KUKA	Parrot	Horizon Discovery Group	Agilent	Trina Solar
Stratasys	Mitsubishi Electric	Yuneec	Intellia Therapeutics	Samsung Electronics	Canadian Solar
	Yaskawa	Boeing	Precision BioSciences	Intel	Hanwa Q cells
	Hanson Robotics	Lockheed Martin	Sangamo Therapeutics		
	Pal Robotics	Northrop Grumman			
	Robotis				
	Softbank Robotics				
	Alphabet/Waymo				
	Aptiv				
	GM				
	Tesla				

Fonte: Extraído de UNCTAD (2021, p. 21)

Nota: Empresas americanas em azul, empresas chinesas em vermelho e outras em cinza.

As políticas de concorrência precisarão ser atualizadas e ampliadas para considerar questões como privacidade do consumidor, proteção de dados pessoais, escolha do consumidor, estrutura do mercado, custos de troca e efeitos de bloqueio (UNCTAD, 2019). Nos últimos anos, novas pesquisas e ferramentas computacionais reviveram a perspectiva original de equipar máquinas com capacidades de raciocínio semelhantes às humanas. Isso normalmente envolve

modelos probabilísticos que podem lidar com grande incerteza, trabalhar com dados limitados e aprender com a experiência. Esses modelos poderiam ser usados em qualquer lugar, portanto, não beneficiariam particularmente os Estados Unidos ou a China, mas ainda assim, exigiriam o tipo de recursos e capacidades mais prováveis de serem encontrados nos países desenvolvidos, que poderiam, portanto, ficar mais à frente dos países em desenvolvimento (UNCTAD, 2021).

A adoção extensiva de tecnologias de ponta poderia permitir que os países desenvolvidos se posicionassem mais à frente das economias menos industrializadas. Uma lacuna tecnológica crescente tornaria difícil para esses países menos industrializados recuperar o atraso, diversificar suas economias e criar empregos. A alternativa é os próprios países em desenvolvimento ampliarem a implantação dessas tecnologias 4.0, uma tarefa assustadora, mas alcançável.

No passado, países como China, México e um punhado de economias asiáticas subiram na escada da renda transferindo trabalho e capital da agricultura de baixa produtividade para manufatura e serviços de alta produtividade. Na manufatura, seguindo o modelo de gansos voadores, esses países desenvolveram capacidade e habilidades, subindo na cadeia de valor, substituindo atividades de manufatura de baixa qualificação e média qualificação por produção de maior qualificação e maior valor agregado. Enquanto isso, países recém-chegados aos processos de desenvolvimento absorveram atividades de baixa qualificação que os países mais avançados haviam ultrapassados (LIN, 2012).

Alguns estudiosos salientam que a dificuldade possível é que as tecnologias de fronteira ou da indústria 4.0 alterem esses processos tradicionais de desenvolvimento, tornando uma jornada que é difícil, ainda mais difícil. Consideram importante abordar essas dificuldades, para que os pontos negativos sejam contextualizados. Os países de médio desenvolvimento e os países de baixa renda podem não ser afetados se não tiverem os empregos manuais de baixa renda que correm o maior risco de serem destruídos por essas tecnologias. Ao mesmo tempo, pode haver áreas em que os países de baixa renda podem se beneficiar diretamente das tecnologias da indústria 4.0 ou de fronteiras (CHOI; DUTZ; USMAN, 2020).

Portanto, a indústria 4.0 trará e já está trazendo mudanças significativas para o mercado de trabalho, sendo assim, qual a previsão da evolução do mercado de futuro para as tecnologias 4.0? Diante das tendências dos impactos da indústria 4.0 ou das tecnologias de fronteira no trabalho, emprego e renda, pode-se pesquisar quais são as megatendências do Futuro do Trabalho que as tecnologias da Quarta Revolução Industrial trarão aos trabalhadores.

3.3. A evolução do mercado futuro de empregos nas tecnologias 4.0

Como foi apresentado no capítulo anterior, as estimativas sobre os tamanhos de mercados para as diversas tecnologias 4.0, apresentam uma evolução crescente e constante considerável nas diversas modalidades. Conforme indicado provavelmente haverá um rápido crescimento semelhante em outras tecnologias associadas à indústria 4.0 (MORDOR INTELLIGENCE, 2020). O rápido crescimento destes mercados também criará mais empregos requisitados por estas tecnologias, como mostram estudos relacionados às várias modalidades de tecnologia da indústria 4.0, conforme apresentado em sequência:

(i) Inteligência artificial. O mercado de trabalho, entre junho de 2015 e junho de 2018, as ofertas de empregos, segundo pesquisas de empregos mundial, aumentaram em quase 100 por cento (OVERMYER, 2018). O maior aumento foi para engenheiros de software e cientistas de dados. Um estudo em 2019 descobriu que a China tinha o maior número de profissionais de IA, com 12.113 empregos, seguida pelos Estados Unidos com 7.465 e Japão com 3.369, e isso será uma tendência para o futuro (RAYOME, 2019).

(ii) Blockchain. O mercado entre 2017 e 2018, a demanda por engenheiros de *blockchain* nos Estados Unidos cresceu 400%. A renda média de um engenheiro de *blockchain* atingiu entre US\$ 150k e US\$ 175k por ano (HIRED, 2020). Empresas como *Facebook*, *Amazon*, *IBM* e *Microsoft* estão todos recrutando talentos neste campo. O que faz esse mercado ser promissor no futuro (RODRIGUEZ, 2018).

(iii) Drones. O mercado entre 2013 e 2015, espera-se que os Estados Unidos criem mais de 100.000 empregos relacionados a drones. Os três principais locais de trabalho com drones são Estados Unidos, China e França, e espera-se que o mercado de drones continue aquecido por vários anos (RADOVIC, 2019).

(iv) 5G. Espera-se que a cadeia global de valor 5G sustente 22 milhões de empregos a partir da implantação nos países. Isso inclui o emprego em operadoras de rede, fornecedores de tecnologia e componentes, fabricantes de dispositivos ‘*Original Equipment Manufacturer*’ (OEM), fabricantes de equipamentos de infraestrutura e desenvolvedores de conteúdo e aplicativos. A China pode ter o maior número de empregos relacionados ao 5G, em torno de 9,5 milhões, seguido pelos Estados Unidos, com cerca de 3,4 milhões e Japão em torno de 2,1 milhões (CAMPBELL et al., 2017).

(v) Impressão 3D. O mercado de trabalho está crescendo rapidamente, estimulando a demanda por profissionais qualificados, incluindo engenheiros, desenvolvedores de software, cientistas de materiais e uma ampla gama de funções de suporte comercial, incluindo vendas e marketing (BUNGER, 2018).

(vi) Edição de Genoma. A demanda por mão de obra também deve aumentar. Entre 2017 e 2030, o Reino Unido poderá criar 18.000 novos empregos. Os Estados Unidos poderão criar, entre 2016 e 2026, 17.600 empregos, incluindo cientistas médicos e engenheiros biomédicos (BUREAU OF LABOR STATISTICS, 2019a, 2019b).

(vii) Internet das coisas (IoT). Em 2017, a indústria global de IoT havia crescido em torno de 2.888 empresas, empregando cerca de 342.000 pessoas (BJORLIN, 2017). O maior número de empregos criados foi na IBM com cerca de 4.420, *Intel Corporation* com cerca de 3.044, *Microsoft* com cerca de 2.806, *Cisco* com cerca de 2.703 e *Ericsson* com 1.665 empregos, o que se espera como uma tendência mais forte para o futuro (BUNTZ, 2017).

(viii) Big Data. À medida que mais setores começaram a adotá-la houve uma escassez significativa de cientistas de dados. Nos Estados Unidos, em 2018 havia uma carência de 151.717 de profissionais com formação em ciência de dados, especialmente na cidade de Nova York com 34.032, na baía de São Francisco cerca de 31.798 e em Los Angeles com 12.251 profissionais, como isso a tendência é o mercado ficar mais acentuado por profissionais altamente qualificados (LINKEDIN, 2018).

(ix) Robótica. As carreiras na área de robótica incluem engenheiros de robótica, desenvolvedores de software, técnicos, engenheiros de vendas e operadores (GRAD SCHOOL HUB, 2020). Em 2016, os Estados Unidos tinham 132.500 engenheiros de robótica e, entre 2016 e 2026, o mercado de trabalho para engenheiros deve crescer 6,4% ao ano (CAREEREXPLORER, 2020a).

(x) Nanotecnologia. O mercado de trabalho nos Estados Unidos deve crescer 6% ao ano entre 2016 e 2026 (CAREEREXPLORER, 2020b). Os salários esperados devem variar entre US\$ 35.000 e US\$ 50.000 para graduados, e entre US\$ 75.000 e US\$ 100.000 para aqueles com grau de doutorado (PETERSON'S, 2017).

(xi) Energia Solar Fotovoltaica. Os empregos devem crescer em um ritmo acelerado, mas ainda há poucas evidências do boom de contratação de energia solar. A recente turbulência política e da indústria em relação à energia solar desacelerou o crescimento (CHAMBERLAIN, 2018).

Por outro lado, algumas pesquisas traçam três cenários mundiais futuros para a economia com a adoção das tecnologias da indústria 4.0. No **primeiro cenário**, algumas estimativas sugerem que em 2030 a IA contribuirá com US\$ 15,7 trilhões adicionais para a economia global, dos quais 40% virão de ganhos de produtividade e US\$ 9,1 trilhões de efeitos colaterais do consumo (PWC, 2017). Isso seria uma consequência dos avanços liderados pelo governo na China e avanços liderados por empresas nos Estados Unidos (LEE, 2018). Embora,

competindo pelo domínio global em IA, os dois países agora têm plataformas digitais que reúnem grandes quantidades de dados de bases de usuários globais. Do total, a China levaria US\$ 7 trilhões e a América do Norte com US\$ 3,7 trilhões. Nesse cenário, esses países deixariam o resto das economias industrializadas avançadas para trás (PWC, 2017). Uma nova e considerável divergência seria, portanto, impulsionada não pela manufatura, mas por dados gerados pelo usuário.

Em um **segundo cenário**, a principal fonte de *Big Data* usada pela IA não seriam de recursos humanos, mas da internet das coisas (IoT). A IoT consiste em máquinas conversando entre si e encontrando novas maneiras de produzir mercadorias. Essa nova onda de IA ativa usará os dados recebidos para produzir melhores máquinas e produtos finais. Nesse caso, isso beneficiaria os países que fabricam essas mercadorias, como os membros da União Europeia, o Japão e a República da Coreia do Sul. Eles poderiam acompanhar os Estados Unidos e a China, ao mesmo tempo que ultrapassariam os países com níveis mais baixos de automação ou fabricação de IoT (UNCTAD, 2021). Nesse cenário, a manufatura ainda é a base da vantagem competitiva entre os países. Isso representa uma continuação da grande divergência de 1820 a 1990, onde as economias da Europa Ocidental e seus desdobramentos avançaram aumentando a produtividade na manufatura. Isso, portanto, acentuaria uma divisão global existente em vez de criar novos dados (MADDISON, 2001).

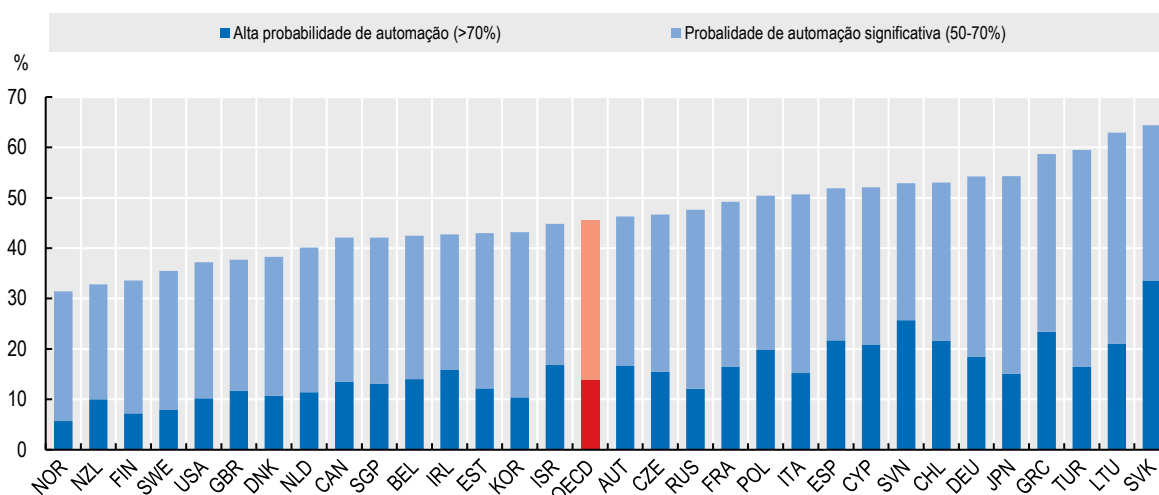
Um **terceiro cenário** envolve equipar máquinas com estruturas conceituais de como o mundo funciona, permitindo-lhes aprender mais com o conhecimento humano, reconhecendo padrões e generalizando a partir de alguns exemplos. Esse método de imitar a inteligência humana remonta às origens da IA. Nos últimos anos, o método de cima para baixo, ou seja de padrões complexos para padrões básicos que imitam a inteligência humana, parece ter sido posto de lado em favor de métodos de baixo para cima baseados em dados de *big data* que usam algoritmos. Este último tem várias desvantagens. Um deles é o problema de casos extremos para os quais as máquinas têm dados insuficientes, como quando carros autônomos encontram cenários da vida real que não eram parte de seus enormes conjuntos de dados de treinamento. Além disso, se algo der errado, pode ser impossível descobrir como um sistema orientado por dados chegou a uma decisão (UNCTAD, 2021).

É notado pelas projeções acima que a indústria 4.0 trará benefícios ao mercado de trabalho, emprego e renda, porém, também se sabe que as ondas tecnológicas em seu primeiro momento trarão turbulências nos mercados de trabalho e consequentemente no emprego e na renda. Assim, qual o desafio para garantir empregos para todos?

3.4. O desafio de garantir empregos para todos: uma análise para países da OECD

Muita atenção foi dada às estimativas do número de empregos que podem ser afetados pela automação no futuro. Embora, limitada pela incerteza, a porcentagem de empregos que enfrentam uma alta probabilidade de automação, com base em uma estimativa das tarefas que poderiam ser automatizadas nos próximos 10 a 20 anos, é de 14% em média nos países da OECD. Além disso, estima-se que 32% dos empregos provavelmente enfrentarão mudanças significativas na forma como serão realizados, devido à automação de algumas tarefas dentro de uma ocupação. No total, quase metade de todos os empregos podem, portanto, enfrentar mudanças significativas, conforme mostra o Gráfico 4. Visto através da lente das habilidades, os computadores já são considerados como estando perto de reproduzir com eficiência as habilidades de alfabetização usadas por 62% dos trabalhadores todos os dias nos países da OECD (ELLIOTT, 2017).

Gráfico 4 – Probabilidade de automação de tarefas nos países da OECD – (2012-2015)



Fonte: Extraído NEDELKOSKA; QUINTINI (2018, p. 86)

No entanto, não está claro o quanto dessa probabilidade de automação realmente pode se materializar. Parece haver uma grande lacuna entre o que pode ser automatizado do ponto de vista técnico e o que está sendo automatizado atualmente pelas empresas. Uma série de fatores pode afetar a adoção de tecnologias, incluindo fatores políticos, econômicos, industriais, legais, éticos e sociais. Por exemplo, as forças de mercado que impulsionam os preços relativos de capital e trabalho; estrutura de mercado e presença de grandes, médias ou pequenas empresas em um local ou setor; normas e regulamentos institucionais; e consumidores, preferências sociais e normas éticas, todos moldam a adoção de tecnologias. Além disso, uma série de habilidades e mudanças

organizacionais são necessárias para funcionar de maneira eficaz a tecnologia 4.0. Os robôs podem até contribuir para conter as perdas de empregos que ocorrem por meio do *offshoring* em algumas economias desenvolvidas, diminuindo a necessidade de realocar certas atividades (DE BACKER; DE STEFANO; MENON; SUH, 2018).

A probabilidade de automação não é igualmente distribuída entre países, regiões e grupos sociodemográficos. Por exemplo, existem disparidades geográficas importantes tanto na probabilidade de criação de empregos induzidos pelas tecnologias 4.0 quanto na automação de empregos em muitos países. Isso implica que a transformação do mercado com a adoção das tecnologias 4.0 pode exacerbar as desigualdades entre as regiões, já que novos empregos podem aparecer em outros lugares que não aqueles onde os empregos podem ser perdidos (SORBE; GAL; MILLOT, 2018).

Existem evidências dos Estados Unidos que mostram que novas indústrias surgirão principalmente em áreas urbanas que têm uma grande parcela de trabalhadores altamente qualificados, e que as regiões mais expostas à adoção de robôs constatarão efeitos negativos sobre os empregos e os salários (ACEMOGLU; RESTREPO, 2017). Isso está de acordo com a descoberta de que regiões altamente urbanizadas que enfrentam menor probabilidade de automação tendem a ter uma parcela maior de trabalhadores com ensino superior empregados em serviços.

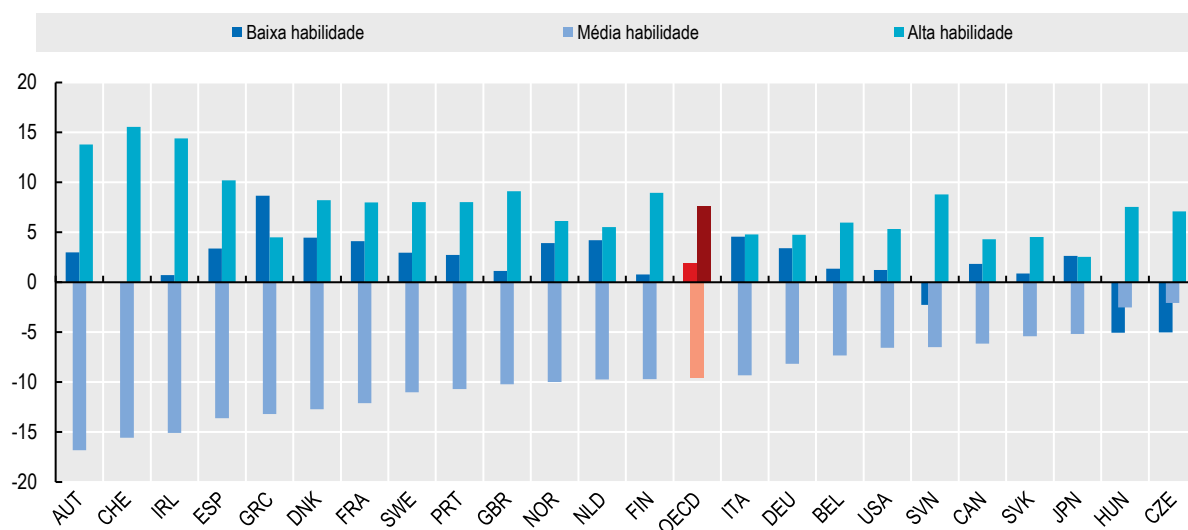
Voltando-se para as evidências sobre a criação e destruição de empregos na última década, a transformação tecnológica contribuiu para a criação geral de empregos em toda a OECD. Entre 2006 e 2016, o emprego total na OECD cresceu 6,9%, um ganho líquido de cerca de 38 milhões de empregos. Embora, a transformação tecnológica possa ter destruído alguns empregos, setores altamente intensivos em tecnologias 4.0, contribuíram com 42% ou 16 milhões de empregos (CALVINO; CRISCUOLO; MARCOLIN; SQUICCIARINI, 2018). Esta descoberta está de acordo com o pressuposto teórico de que, além da criação direta de empregos, o investimento ou uso de TICs deve resultar na criação indireta de empregos, contribuindo para o aumento da produtividade, preços mais baixos e novos produtos que levam a maior demanda final e, por sua vez, em empregos. Em contraste com a criação de empregos em setores intensivos em tecnologias, a grande maioria das perdas de empregos ocorridas no mesmo período em alguns países ocorreu em setores de baixa ou média intensidade na adoção de tecnologias novas (OECD, 2016e).

A criação de novos empregos, combinada com mudanças prováveis e possível destruição dos empregos existentes, transforma os mercados de trabalho. Os governos, juntamente com os parceiros sociais, precisam ajudar na transição dos trabalhadores para novos empregos. A

adaptação ao progresso tecnológico e às novas formas de organização do trabalho requer políticas que facilitem a transição dos trabalhadores entre empresas, indústrias, regiões e ocupações. Uma condição importante para a transição dos trabalhadores para novos empregos é o bom funcionamento dos mercados de trabalho. O estudo *Good Jobs for All in a Changing World Of Work: The OECD Jobs Strategy* (OECD, 2018g) fornece orientação sobre como melhorar o desempenho do mercado de trabalho em três dimensões: (1) mais e melhores empregos; (2) mercados de trabalho inclusivos; e (3) adaptabilidade e resiliência. Sendo que este último é particularmente importante no contexto da indústria 4.0, uma vez que requerem flexibilidade para as empresas e a mobilidade dos trabalhadores, investimentos em habilidades e treinamento, a oferta de salários-mínimos bem definidos e redes de segurança social adequadas, combinadas com fortes políticas, apoio direcionado aos trabalhadores deslocados, diálogo social e negociação coletiva em diferentes níveis.

Como observado, nas últimas duas décadas, os mercados de trabalho na maioria dos países da OECD se polarizaram, isto é, a proporção do emprego com alta qualificação e, em certa medida, de empregos pouco qualificados, aumentou, enquanto a proporção do emprego de média qualificação diminuiu, conforme mostra o Gráfico 5. Isso corresponde à constatação de que a demanda do mercado de trabalho por habilidades cognitivas, como fluência em escrita e oral, matemática, raciocínio e resolução de problemas complexos, aumentou na última década, enquanto a demanda por habilidades rotineiras e físicas caiu significativamente (OECD, 2019c).

Gráfico 5 – Polarização dos mercados de trabalho nos países da OECD – (1995-2015)



Fonte: Extraído OECD (2017a, p. 88)

Os trabalhadores com maior probabilidade de se beneficiarem de oportunidades de emprego altamente qualificado, especialmente em setores intensivos em digital, são trabalhadores com habilidades que complementam a tecnologia e podem realizar tarefas não rotineiras. Olhando para o futuro, aqueles que podem arcar com grande parte dos custos potenciais da transformação digital serão provavelmente trabalhadores de baixa qualificação em empregos que provavelmente enfrentarão automação, aumento da concorrência de trabalhadores de qualificação média e dificuldades de adaptação às novas necessidades de qualificação (OECD, 2017a).

Independentemente do nível de habilidade, é importante garantir que os trabalhadores se beneficiem dos ganhos de produtividade associados à adoção das tecnologias da indústria 4.0. Nas últimas duas décadas, esse não foi necessariamente o caso, uma vez que o crescimento real dos salários médios na maioria dos países da OECD se desvinculou do crescimento da produtividade do trabalho. Como resultado, os ganhos de produtividade não parecem mais se traduzir automaticamente em ganhos salariais para todos os trabalhadores (OECD, 2018p).

Para ajudar a garantir resultados positivos para os trabalhadores, é imperativo facilitar transições justas e bem-sucedidas de empregos em declínio para os empregos em expansão na economia da indústria 4.0, por exemplo, ao encontrar um equilíbrio entre a flexibilidade das empresas e a mobilidade dos trabalhadores, por um lado, e a estabilidade do emprego, por outro, inclusive por meio do diálogo. Isso inclui a facilidade com que os empresários podem abrir ou liquidar um negócio, as empresas podem ajustar sua força de trabalho em resposta às mudanças nas condições de negócios e os trabalhadores podem se deslocar entre empresas e locais em busca de melhores correspondências para suas habilidades e ambições de carreira. O funcionamento e a regulamentação dos mercados financeiro, habitacional e de produtos também são importantes, inclusive por meio de políticas que afetam a entrada e a saída de empresas (OECD, 2018g).

As políticas e instituições do mercado de trabalho desempenham um papel crítico ao determinar a flexibilidade com a qual as empresas podem ajustar sua força de trabalho, ao mesmo tempo que dão proteção adequada aos trabalhadores, e a facilidade com que os trabalhadores podem se mover entre as empresas. Este último, depende em grande medida da transferibilidade de habilidades, da portabilidade de benefícios e da disponibilidade de emprego eficazes e de programas de realocação de trabalhadores ativos para facilitar a transição de um emprego para outro. A mobilidade dos trabalhadores também depende de incentivos salariais para passarem de empresas de baixa para alta produtividade, destacando a importância de permitir espaço suficiente para ajustar os salários às condições de negócios no nível da empresa, especialmente em países onde a negociação coletiva ocorre predominantemente no setor ou em

nível nacional. Também, é importante projetar políticas de educação e treinamento para facilitar as transições entre as ocupações, garantindo empregos de qualidade que façam uso máximo das habilidades dos trabalhadores e ofereçam remuneração atraente (OECD, 2019e).

As pessoas precisam da combinação certa de habilidades para ter sucesso em ambientes de trabalho ricos em tecnologias e estar preparadas para empregos novos e dinâmicos. As evidências mostram a importância das habilidades cognitivas, como alfabetização, matemática e solução de problemas para que os trabalhadores de qualquer setor prosperem em uma economia global 4.0 e interconectada. Existe um consenso crescente de que habilidades transversais, como pensar de forma crítica e criativa, resolver problemas, tomar decisões com a utilização de tecnologia e comportamento colaborativo são essenciais (GRUNDKE, et al., 2018).

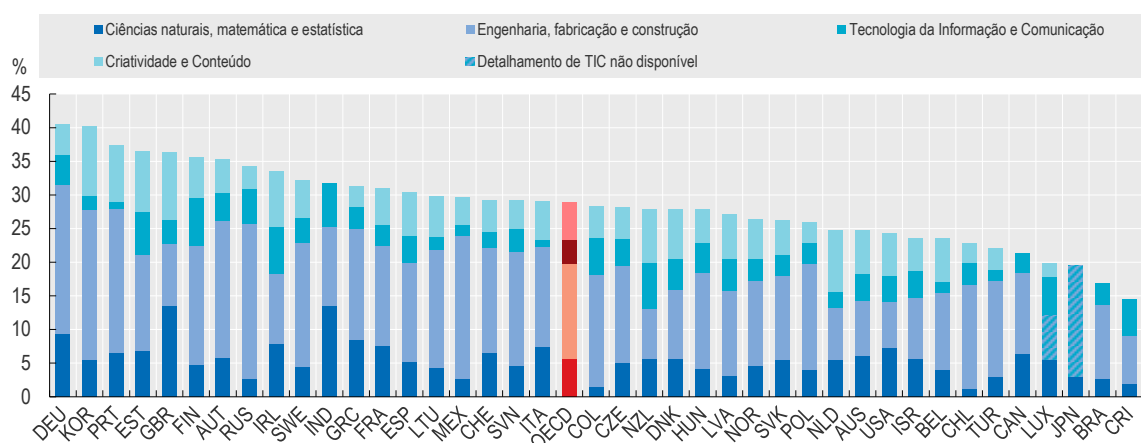
Ao mesmo tempo, o desenvolvimento dessas habilidades não pode ocorrer às custas do conhecimento do conteúdo, pois trabalhar em um ambiente com tecnologias 4.0 requer uma compreensão profunda do conteúdo. Além disso, é provável que as complementaridades entre tecnologia e trabalhadores cresçam com a automação dos locais de trabalho, o que deve levar a um maior uso de habilidades cognitivas, por exemplo, habilidades matemáticas avançadas. Além disso, mais liberdade no planejamento e organização do trabalho, associada ao fato de que muito trabalho provavelmente envolverá menos tarefas rotineiras, requer melhores habilidades de gestão e comunicação para trabalhar em equipe com sucesso (OECD, 2019c).

Embora, a incerteza permaneça sobre as mudanças exatas nas habilidades necessárias para prosperar em um mundo com tecnologias avançadas 4.0, as seguintes habilidades estão entre as que parecem cruciais: (1) habilidades cognitivas gerais, notadamente fluência em línguas, matemática e habilidades em TIC, as habilidades de TIC usadas no trabalho incluem, por exemplo, habilidades básicas de informática, habilidades de comunicação, busca de informações e proficiência no uso de software de produtividade de escritório; e (2) habilidades complementares, como resolução de problemas complexos, pensamento crítico e criativo, autonomia, trabalho em equipe, habilidades complexas de interação social, inteligência emocional e uma forte capacidade de continuar aprendendo. Muitos empregos, especialmente em setores e ocupações com uso intensivo de tecnologias avançadas, também exijam habilidades especializadas em TIC, que incluem gerentes de serviços de TIC, profissionais de TIC, técnicos de TIC, engenheiros de eletrotecnologia e instaladores e reparadores de aparelhos eletrônicos e telecomunicações, e/ou, especialistas em dados, que incluem matemáticos, atuários, estatísticos e profissionais de banco de dados e rede, que são altamente demandadas em muitos países da OECD (OECD, 2018q).

Embora, as habilidades sejam adquiridas de várias maneiras e em diferentes estágios da vida e do trabalho, a educação primária à superior é essencial para fornecer às pessoas

as habilidades que formam a base de sua vida social e profissional, incluindo a aprendizagem ao longo da vida. Quando se trata de graduados do ensino superior em áreas de estudo que são fundamentais na era digital, surgem diferenças importantes entre os países. A proporção de graduados em TIC, ciências, matemática, engenharia e áreas criativas de estudo variam significativamente, de mais de 40% no país com as quotas mais altas a 20% ou menos nos países com as quotas mais baixas, conforme mostra o Gráfico 6 (OECD, 2019g).

Gráfico 6 - Principais campos de estudo para o trabalho com tecnologias 4.0 (2016)



Fonte: Extraído OECD (2019g, p. 89)

O Gráfico 6, também mostra que a área de estudo mais requisitado pela maioria dos países da OCDE é em engenharia, fabricação e construção, seguidas das áreas de ciências naturais, matemática e estatística, e criatividade e conteúdo. Portanto, os países mais desenvolvidos são a Alemanha 40,5% , seguida da Coreia do Sul com 40,2% e Portugal com 37,4% dos campos de estudos necessários para a utilização das tecnologias 4.0. Também, pode-se ressaltar que a Rússia é a mais desenvolvida no campo de estudo de engenharia, fabricação e construção (22,2%), seguida da Alemanha (22%) e Portugal (21,3%), no campo de tecnologia da informação e comunicação, o destaque é a Finlândia (7,1%), seguida de Israel (7,0%) e da Nova Zelândia (6,8%). Em ciências naturais, matemática e estatísticas, os grandes destaques são o Reino Unido (13,6%) e a Índia (13,5%). Já em criatividade e conteúdo os destaques são a Coreia do Sul (10,3%) e o Reino Unido (10%).

Algumas habilidades são especialmente recompensadas em ambientes de trabalho que usam tecnologias 4.0: trabalhadores em indústrias intensivas em tecnologias 4.0 com altas habilidades em ciências, engenharia e matemática e altos níveis de auto-organização ou habilidades de gestão e comunicação tendem a receber um prêmio salarial em relação aos

trabalhadores nas indústrias não intensivas em tecnologias 4.0. Por outro lado, os trabalhadores pouco qualificados parecem sofrer pressão para baixo em seus salários como resultado da transformação tecnológica (GRUNDKE, et al., 2018; NEDELKOSKA; QUINTINI, 2018).

Os salários também são afetados pelas habilidades que os trabalhadores adquirem por meio da educação formal, bem como do treinamento e da aprendizagem ao longo da vida profissional. Em média, 8% dos trabalhadores treinam para obter uma qualificação formal, embora essa formação tenda a resultar em salários mais baixos, o que pode refletir o afastamento do trabalho dos trabalhadores para a realização de cursos formais. Em contraste, 41% dos trabalhadores participam de aprendizagem não formal, com um aumento de 11% nos salários associado, e cerca de 70% participam de atividades de aprendizagem informal, o que resulta em um aumento de 3,5% nos salários (FIALHO; QUINTINI; VANDEWEYER, 2019).

Todos devem ter a chance de adquirir as habilidades necessárias e usá-las com eficácia e aprimorá-las continuamente. A partir da educação infantil, a acessibilidade, a qualidade e a equidade da educação para os jovens e da formação para os adultos ao longo da vida profissional precisam melhorar, inclusive por meio de um melhor uso das tecnologias digitais 4.0 para a aprendizagem (OECD, 2019e).

As tecnologias digitais criam novas possibilidades de educação e treinamento. A aprendizagem digital e a educação aberta vem em muitas formas, por exemplo, educação pós-secundária, graduação e pós-graduação, educação continuada, treinamento de curto prazo e desenvolvimento profissional. Pode ser oferecido por instituições educacionais formais, indústria ou novos participantes nos campos de educação e treinamento. A aprendizagem digital pode reduzir o custo do treinamento, aumentar a flexibilidade na oferta de treinamento e atender melhor às necessidades individuais, entre outros. Aprendizagem digital e educação aberta é muito promissor para promover a aprendizagem de adultos ao longo da vida (OECD, 2019c).

Uma forma de aprendizagem digital é a aprendizagem online, que possibilita principalmente o ensino à distância e pode ser aberta a um grande número de alunos. A aprendizagem online inclui tutoriais, palestras gravadas, recursos educacionais online, bem como pequenos cursos online privados ou grandes cursos online abertos, os *Massive Open Online Courses* (MOOCs). Os MOOCs têm atraído muita atenção nos últimos anos, mas o retorno da experiência sobre seu potencial de educação e treinamento ainda é limitado. Embora, os primeiros MOOCs populares tenham sido oferecidos por instituições formais de ensino pós-secundário e se concentram em áreas de disciplinas acadêmicas tradicionais, mais recentemente o número de MOOCs que visam aprimorar as habilidades e fornecer desenvolvimento profissional, aumentou. Alguns desses MOOCs orientados para habilidades foram criados por, ou em cooperação com,

multinacionais que ajudam a definir os currículos ou estão preparados para aceitar certificados de conclusão de MOOCs em seus processos de contratação. Para as empresas, os MOOCs podem ser um meio potencialmente econômico de investir em seus funcionários. Os usuários da educação aberta são, em grande parte, funcionários que a combinam com a educação formal e, em menor grau, trabalhadores no local de trabalho (OECD, 2019c).

O desafio principal dos muitos MOOCs é que as taxas de conclusão são muito baixas e que os padrões de participação e conclusão parecem replicar os padrões de aprendizagem offline, ou seja, os altamente qualificados e de média qualificação são mais propensos a participar e finalizar cursos do que os de baixa qualificação. Isto é, portanto, não está claro se os MOOCs irão reduzir ou realmente reforçar as desigualdades na aprendizagem de adultos. Para aqueles que concluem os cursos online, a certificação e/ou seu reconhecimento continua sendo um desafio, apesar de muitas abordagens inovadoras de certificação que evoluíram com o aprendizado digital, por exemplo, emblemas digitais, nano e micro graus e outras formas alternativas de credenciais (OECD, 2019c).

As ocupações que requerem treinamento formal e currículos relacionados demandam uma evolução com uma visão de longo prazo, com avanços nas condições e na qualidade do ensino. Além disso, as políticas públicas devem ajudar os indivíduos a navegar por ambientes de trabalho incertos e em evolução, promovendo informações abrangentes sobre habilidades e oportunidades de aprendizagem; tornando as oportunidades de aprendizagem flexíveis e acessíveis para indivíduos e empregadores; e estabelecer mecanismos para garantir a qualidade e credibilidade da aprendizagem. Também é importante que as políticas promovam o envolvimento de todos na aprendizagem, ou seja as instituições públicas, sociedade civil e as empresas, especialmente aqueles que correm o maior risco de ter suas habilidades obsoletas por serem substituídas pelas tecnologias da indústria 4.0. No geral, a prontidão das pessoas para aprender, que está fortemente correlacionada com as habilidades cognitivas, é um determinante crucial da participação em programas de treinamento, mas também, da aprendizagem com a experiência e expansão das oportunidades de aprendizagem digital (OECD, 2019c).

À medida que a oferta e as formas de educação, treinamento e aprendizagem se expandem e se diversificam, uma questão chave a ser abordada é como projetar e organizar a certificação de aprendizagem, incluindo aprendizagem digital, para fornecer clareza para empresas e indivíduos e, para facilitar o reconhecimento de habilidades adquiridos formal e informalmente. Muitos mercados de trabalho são caracterizados por um grupo de trabalhadores com níveis de escolaridade semelhantes, mas com habilidades muito diferentes. Além disso, as empresas não estão apenas exigindo mais em termos de requisitos de qualificação dos trabalhadores, mas

também testando cada vez mais as habilidades por conta própria, em vez de depender de diplomas (OECD, 2016f).

Da mesma forma, as habilidades adquiridas pelos trabalhadores por meio da aprendizagem informal nem sempre são certificadas e nem facilmente reconhecidas por outros empregadores, o que pode enfraquecer os incentivos à aprendizagem e a capacidade dos trabalhadores de se beneficiarem plenamente dessa aprendizagem. É, portanto, crucial desenvolver melhores mecanismos de credenciamento que complementem o diploma tradicional, incluindo certificações que são independentes da conclusão de anos de educação, e avançar para uma avaliação confiável de habilidades ao invés de apenas uma certificação de participação em atividades de aprendizagem (OECD, 2019c; FIALHO; QUINTINI; VANDEWEYER, 2019).

Para desenvolver uma abordagem holística para melhorar os sistemas de educação e treinamento, os governos precisam investir estrategicamente. Para ajudar os governos, nesta empreitada a OECD publicou os resultados de um estudo denominado de '*Skills Strategy 2019*', atualmente sendo reavaliado, fornece uma estrutura estratégica integrada e intergovernamental para ajudar os países a identificar os pontos fortes e fracos de seus sistemas de habilidades nacionais, compará-los internacionalmente e desenvolver políticas que podem conduzir a melhores habilidades e melhores empregos, crescimento econômico e inclusão social. Essa estratégia de qualificações da OECD identifica três imperativos: (1) aprendizagem ao longo da vida; (2) promoção de oportunidades e resultados equitativos; (3) e melhor uso da tecnologia digital como dispositivo de aprendizagem. Defende três áreas principais de ação política: (1) desenvolvimento de habilidades relevantes ao longo do curso de vida; (2) usar habilidades de maneira eficaz em todas as fases do trabalho e da sociedade; e (3) fortalecimento da governança do sistema de qualificações (OECD, 2019b).

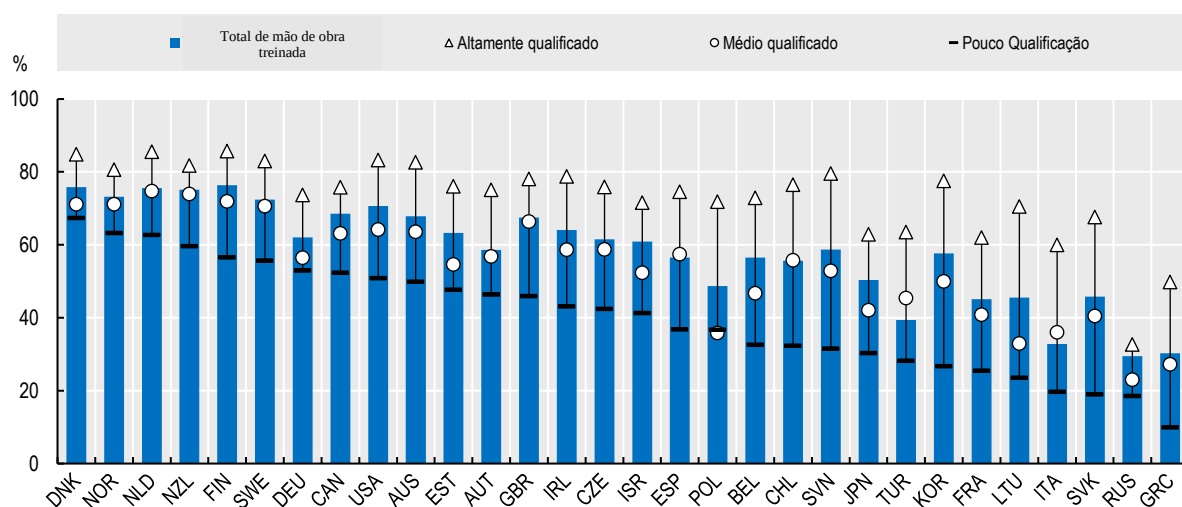
Além disso, a coordenação entre instituições de educação e treinamento, empregadores e parceiros sociais e instituições são cruciais para tornar os programas de educação e treinamento mais responsivos às necessidades em constante mudança e ajudar a direcionar aqueles que mais precisam de oportunidades de aprendizagem. Isso deve incluir, orientação e aconselhamento de alta qualidade e independente, sobre aprendizagem ao longo da vida para todos os trabalhadores e desempregados ao longo de toda a carreira (OECD, 2019c).

Trabalhadores pouco qualificados tendem a enfrentar a maior urgência para aprimorar ou se requalificar, porque seus trabalhos são mais propensos a serem automatizados, já que ocupações mais rotineiras tendem a exigir habilidades mais baixas, embora esta correlação não seja necessariamente muito forte. Por outro lado, os trabalhadores com maior qualificação tendem a se beneficiar relativamente mais com as mudanças tecnológicas, porque suas habilidades

são mais facilmente transferíveis para outros empregos ou têm maior probabilidade de complementar a tecnologia (MARCOLIN; SQUICCIARINI, 2018).

No entanto, os trabalhadores de baixa qualificação têm menos probabilidade de receber treinamento na empresa do que os de média e alta qualificação, conforme mostra no Gráfico 7. Isso pode ser parcialmente explicado por que há mais barreiras que dificultam a participação de adultos poucos qualificados na aprendizagem, notadamente a falta de habilidades básicas para atender aos requisitos de entrada para os treinamentos, como bem como restrições de tempo e baixa motivação (OECD, 2019h). Um potencial importante poderia ser realizado se a parcela de trabalhadores pouco qualificados participando de treinamento na empresa (40%) aumentasse em comparação com a parcela de trabalhadores com alta qualificação (73%), em particular, dado que o treinamento de trabalhadores pouco qualificados pode melhorar significativamente a difusão e o uso de tecnologias 4.0 nas empresas e, por sua vez, aumentar a produtividade (ANDREWS; NICOLETTI; TIMILIOTIS, 2018).

Gráfico 7 – Nível de treinamento de trabalhadores nos países da OECD, segundo qualificação (2012-2015)



Fonte: Extraído OECD (2019g, p. 92)

Enfrentando maior probabilidade de automação, os trabalhadores pouco qualificados também enfrentam maiores dificuldades do que os trabalhadores altamente qualificados para se deslocarem para ocupações que não serão afetadas pela automação. No entanto, retrainar trabalhadores pouco qualificados seria menos custoso do que retrainar trabalhadores altamente qualificados, levando-se em consideração o custo de oportunidade do treinamento. Por um lado, os trabalhadores altamente qualificados mudam mais facilmente de um trabalho para o outro do que os trabalhadores pouco qualificados, porque as distâncias de

habilidades cognitivas entre as diferentes ocupações de alta qualificação são menores do que entre as diferentes ocupações de baixa qualificação, bem como entre as ocupações qualificadas de média e alta qualificação (BECHICHI; GRUNDKE; JAMET; SQUICCIARINI, 2018).

Por outro lado, a mudança de um trabalhador altamente qualificado de um trabalho com alta probabilidade de automação para um trabalho com menor probabilidade de automação é mais cara do que a mesma mudança de um trabalhador pouco qualificado, porque o custo de oportunidade dos trabalhadores altamente qualificados em deixar o emprego para treinamento é mais alto do que o custo de oportunidade para trabalhadores pouco qualificados (ANDRIEU; MARCOLIN; SQUICCIARINI; JAMET, 2019).

As transições para ocupações com probabilidade baixa ou média de automação parecem ser possíveis para todos os trabalhadores, mas não necessariamente aceitáveis, já que algumas transições podem acarretar perdas importantes de capital humano e/ou cortes salariais. Depois de um período de reciclagem de seis meses ou menos, os trabalhadores em quase todas as ocupações poderiam fazer a transição para outra ocupação que seja relativamente semelhante em termos de requisitos de habilidades cognitivas, habilidades baseadas em tarefas e áreas de conhecimento. Mas nem todas as transições que são, em princípio, possíveis são necessariamente aceitáveis para os trabalhadores. Na verdade, com esforços de treinamento de no máximo um ano, existem poucas transições aceitáveis para ocupações de baixa qualificação, uma vez que todas as outras ocupações são caracterizadas por requisitos de habilidades mais elevados. Transições aceitáveis para ocupações altamente qualificadas também são raras com os mesmos esforços de treinamento, em particular porque várias das transições possíveis implicariam em cortes salariais importantes ou a aceitação de empregos para os quais os trabalhadores são superqualificados (BECHICHI; JAMET; KENEDI; GRUNDKE; SQUICCIARINI, 2019).

3.5. Políticas públicas de aprendizagem dos trabalhadores na Indústria 4.0 nos países da OECD

Na subseção anterior, foi debatido como garantir empregos para todos. Assim, é necessário investigar quais pontos de políticas governamentais que estão sendo estudados e adotados pelos países da OECD para vencer o obstáculo de aprendizagem, não só dos novos profissionais que estão ingressando no mercado de trabalho, mas principalmente os que já estão trabalhando ou à procura de emprego.

O cenário ideal seria de que todos os trabalhadores e pessoas à procura de emprego tivessem oportunidades e incentivos para melhorar seu conhecimento e/ou se requalificar ao longo de suas vidas – seja por meio de educação formal ou treinamento, seja por meio de aprendizagem

não formal e informal. Vários aspectos-chaves devem ser considerados para tornar a aprendizagem uma realidade por toda a vida, especialmente para indivíduos pouco qualificados. Isso inclui a concepção de incentivos eficazes para investimentos em treinamento, por exemplo, contas de treinamento pessoal ou direitos de treinamento ao longo da vida, e desenvolver mecanismos para permitir a portabilidade dos direitos de treinamento entre os empregadores, de modo que os direitos acumulados não sejam perdidos quando os trabalhadores mudam de emprego. Além disso, é importante motivar os trabalhadores para aumentar o tempo para participação na educação e no treinamento. Isso também é importante para os trabalhadores em formas de trabalho atípicas que podem enfrentar desafios específicos para acessar oportunidades de aprendizagem ao longo da vida e, muitas vezes, têm menos probabilidade do que os trabalhadores convencionais de participar do treinamento (BECHICHI; JAMET; KENEDI; GRUNDKE; SQUICCIARINI, 2019).

Os sistemas de treinamento de adultos com bom desempenho, desempenham um papel crucial para garantir que os trabalhadores em todos os níveis de habilidade e idades recebam o treinamento de que precisam para serem resilientes a mudanças de empregos e se beneficiarem de novas oportunidades com as tecnologias 4.0. A aprendizagem de adultos continua sendo um elo fraco na agenda de aprendizagem para os países. A participação média na aprendizagem de adultos é de apenas cerca de 40% nos países da OECD. Essa participação é ainda menor para aqueles que mais precisam de qualificação e requalificação: a participação na aprendizagem de adultos daqueles com baixos níveis de qualificação é 23% menor do que para aqueles com habilidades médias e altas. Embora deva ser do interesse das empresas entender as necessidades de treinamento de seus funcionários, em média, apenas duas em cada três empresas avaliam suas necessidades futuras de habilidades e aquelas que o fazem nem sempre alinham sua política de treinamento com esta avaliação. É provável que essas deficiências aumentem a pressão sobre os sistemas de aprendizagem de adultos para que funcionem (OECD, 2019h).

Algumas ações políticas para melhorar a preparação dos sistemas de aprendizagem de adultos são:

- tornar os sistemas de aprendizagem de adultos mais inclusivos, por exemplo, através do fornecimento de melhores informações e orientação, oferta de aprendizagem flexível e o reconhecimento da educação e treinamento anteriores;
- alinhar mais estreitamente a aprendizagem de adultos com as necessidades de habilidades, por exemplo, garantir informações de alta qualidade sobre as necessidades de habilidades para ajudar a moldar os sistemas de aprendizagem;

- melhorar a qualidade do treinamento, por exemplo, estabelecendo e monitorando padrões de qualidade, garantindo que o treinamento leve à certificação e avaliando regularmente os programas de aprendizagem de adultos;
- garantir o financiamento adequado da aprendizagem de adultos, inclusive apelando a empregadores e indivíduos, além de governos, para contribuir com os custos de treinamento de acordo com os benefícios que podem ser obtidos;
- melhorar a governança para permitir uma coordenação vertical e horizontal eficaz sobre a aprendizagem de adultos dentro do governo, bem como a cooperação com os parceiros sociais e outras partes interessadas;
- aumentar as aspirações de aprendizagem por parte dos trabalhadores e empresas, fortalecendo os sistemas de validação e certificação de qualificações e incentivar o desenvolvimento de mercados de educação e formação que atendam às necessidades dos adultos (OECD, 2019c; 2019h).

No entanto, muitas vezes a grandeza do desafio de capacitar todos com as habilidades necessárias para ter sucesso em um mundo digital de trabalho 4.0 vai além das capacidades dos governos. O custo agregado por si só para retrainar todos os trabalhadores em empregos que enfrentam uma alta probabilidade de automação em um determinado país é grande. No entanto, o custo não precisa ser incorrido de uma só vez, uma vez que as perdas de empregos em ocupações que enfrentam uma alta probabilidade de automação provavelmente serão graduais. É importante ressaltar que os países ainda precisam determinar como dividir os custos entre empregadores, governos e trabalhadores. Portanto, o montante de capital a ser investido não é a única questão, por exemplo, os governos devem encorajar os empregadores a investir em treinamento, fornecer incentivos para que o setor privado invista no desenvolvimento de habilidades, incorporar a aprendizagem baseada no trabalho em programas educacionais e criar um ambiente onde as pessoas tenham maior poder discricionário sobre as atividades de aprendizagem (ANDRIEU; MARCOLIN; SQUICCIARINI; JAMET, 2019).

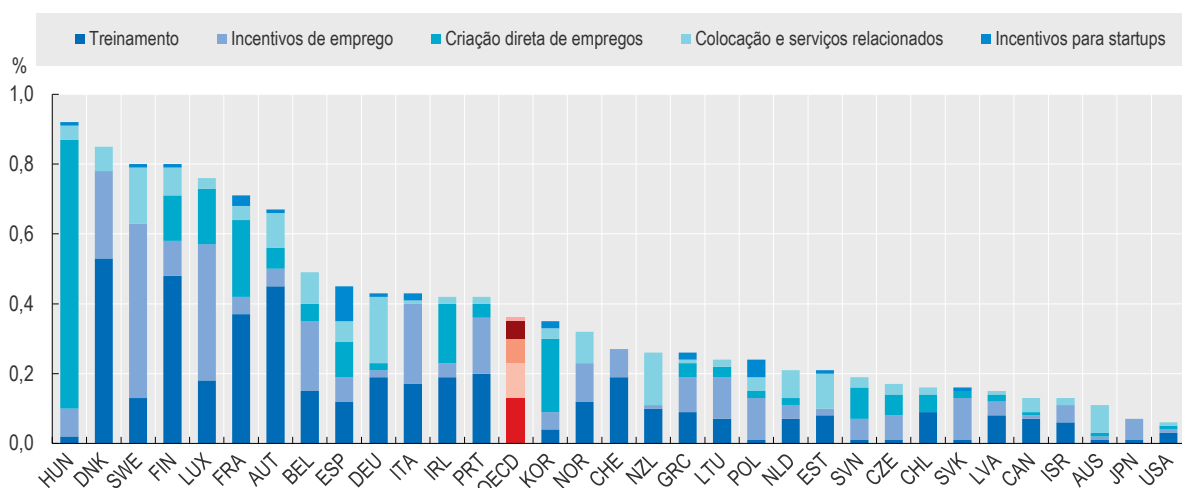
Nem todos os trabalhadores que fazem a transição para novas ocupações ou que tentam ingressar no mercado de trabalho pela primeira vez ou após um período de desemprego necessariamente encontrarão um novo emprego imediatamente. A proteção social adequada é, portanto, crucial para permitir uma transição justa e bem-sucedida para todos, inclusive para os trabalhadores desempregados. Um ponto de partida para melhorar as perspectivas de (re)emprego e segurança de renda, especialmente para trabalhadores que perderam os seus empregos, é um sistema de programas ativos e passivos de mercado de trabalho bem elaborados e com recursos

adequados, que são implementados frequentemente como parte de estratégias de ativação de empregos nacional (OECD, 2018e).

Programas ativos de mercado de trabalho devem fornecer a todos os trabalhadores deslocados acesso oportuno a serviços básicos de busca de emprego e direcionar os trabalhadores que requerem serviços de (re)emprego ou retreinamento mais intensivos. Os gastos públicos em programas ativos para o mercado de trabalho diferem significativamente entre os países e são bastante baixos em alguns, considerando os efeitos importantes de tais gastos nos serviços para trabalhadores desempregados, como assistência para reemprego, conforme mostra o Gráfico 8. O gasto médio com treinamento para desempregados e trabalhadores em risco de desemprego involuntário nos países da OECD é de apenas 0,13% do PIB, o que parece baixo em vista dos custos esperados de reciclagem de trabalhadores em empregos que enfrentam uma alta probabilidade de automação (OECD, 2019g).

Alguns trabalhadores podem necessitar temporariamente de apoio na forma de seguro-desemprego. Um esquema de benefícios de desemprego bem planejado é crucial para fornecer segurança de renda adequada. Os esquemas de apoio à renda devem ser elaborados com o objetivo geral de fornecer segurança à renda e compensar os ganhos perdidos sem prejudicar os incentivos ao trabalho. Por exemplo, o fornecimento de um suplemento de salário temporário para trabalhadores deslocados que retornam ao trabalho rapidamente aceitando um novo emprego com um nível de pagamento mais baixo pode ser útil nesse sentido (OECD, 2018e).

Gráfico 8 – Distribuição de gastos com programas de treinamento entre os países da OECD (2016)



Fonte: Extraído OECD (2019g, p. 94)

Nota: Para a Grécia, Itália, Luxemburgo e Espanha, os dados referem-se a 2015. Os dados da OECD sobre despesas públicas nos mercados de trabalho baseiam-se principalmente em informações sobre programas individuais do mercado de trabalho que aparecem nos orçamentos estaduais e nas contas e relatórios anuais dos organismos de implementação os programas.

No Gráfico 8, o conceito de despesa pública com políticas ativas do mercado de trabalho refere-se às despesas das autoridades públicas centrais e locais em regimes destinados às ‘pessoas visadas’: desempregados, ou seja, não estão a trabalhando, mas procuram ativamente, inativos, ou seja, gostariam de trabalhar, não procuram ativamente ou empregado, mas em risco de perda involuntária do emprego. A colocação e os serviços relacionados são normalmente prestados pelo serviço público de emprego ou por outros organismos financiados pelo setor público. Incluem aconselhamento de emprego e gestão de casos, encaminhamento para oportunidades de trabalho, serviços de informação e assim por diante. O treinamento inclui treinamento institucional direcionado e baseado no local de trabalho das pessoas selecionadas. Os incentivos ao emprego incluem incentivos em que o empregador cobre a maior parte do custo da mão-de-obra e esquemas de rotação/partilha de empregos em que uma pessoa-alvo substitui um empregado por um período fixo. A criação direta de empregos está relacionada a novos empregos em que o custo da mão de obra é financiado em sua maioria por fundos públicos por um período limitado. Os incentivos ao início de atividades incentivam as pessoas específicas a iniciar negócios ou a se tornarem autônomos (OECD, 2019g).

Em geral, os governos podem precisar tornar a proteção social mais sustentável, eficaz e adaptável. Dado que muitos países já lutam para fornecer proteção social adequada para trabalhadores com contratos de trabalho fora do padrão, por exemplo, contratos temporários, autônomo, trabalho sob demanda, o advento do trabalho mediado por plataforma digital pode aumentar a carga sobre os sistemas de proteção social (OECD, 2018r).

Um número crescente de pessoas trabalham apenas ocasionalmente e/ou possuem múltiplos empregos e fontes de renda, com frequentes transições entre emprego dependente, trabalho autônomo e períodos sem trabalho. Muitas pessoas trabalham informalmente e não estão protegidas pelas regras existentes. Tudo isso aumenta os desafios enfrentados pelos sistemas de seguridade social existentes, que ainda são amplamente baseados na assunção de um contrato de tempo integral, regular e por tempo indeterminado com um único empregador. Como resultado desses desafios, mais trabalhadores correm o risco de cair nas fendas, embora a escala do problema que se avizinha seja difícil de prever nesta fase (OECD, 2018r).

Vários países estão experimentando diversas formas de esquemas de renda básica que, além de simples, têm a vantagem de não deixar ninguém sem apoio. No entanto, um pagamento incondicional a todos em níveis significativos, mas fiscalmente realistas, exigiria aumentos de impostos, bem como reduções nos benefícios existentes, e muitas vezes não seria uma ferramenta eficaz para reduzir a pobreza. Além disso, alguns grupos desfavorecidos

perderiam os benefícios existentes quando fossem substituídos por uma renda básica, ilustrando as desvantagens da proteção social sem qualquer forma de direcionamento (OECD, 2017o).

Dessa maneira, a evolução do uso de tecnologias digitais 4.0 e de novos modelos de negócios, entre outros motivadores, deram origem a plataformas *online* que facilitam o surgimento de trabalho mediado por plataforma, como o trabalho em massa e outras formas de trabalho, frequentemente sob demanda de trabalho, ou seja várias empresas demandam tarefas que são colocadas em plataformas mediadoras de trabalho. Os trabalhadores em mercados mediados por plataformas geralmente se beneficiam de baixas barreiras de entrada e flexibilidade, o que pode facilitar a integração de grupos sub-representados no mercado de trabalho e, pode promover a inclusão. A maior parte desse trabalho parece ser realizado como uma forma de trabalho atípico, nomeadamente por trabalhadores independentes ou por conta própria e, em muitos casos, como um emprego a tempo parcial. Embora este grupo diversificado de trabalhadores pareça ter crescido rapidamente nos últimos anos, estima-se que seja uma parcela muito pequena do emprego geral, medir o tamanho exato e as características específicas dessa população ainda permanecem um desafio (GEVA; PAK; SCHWELLNUS; VEIEL, 2019).

Os resultados do mercado de trabalho variam muito entre os trabalhadores atípicos, em particular em termos de remuneração, segurança no emprego e proteção social. Por exemplo, trabalhadores por conta própria têm uma probabilidade significativamente maior do que os empregados formais de ganhar menos do que o salário-mínimo (OECD, 2018e). Esses trabalhadores também têm menos probabilidade de serem cobertos por acordos de negociação coletiva e/ou alguns regulamentos trabalhistas, tendem a receber menos treinamento e a estar mais expostos à pressão no trabalho. Algumas plataformas também vão além da função de mero facilitador ou mercado, por exemplo, na determinação de preços, horários de trabalho ou detalhes da prestação de serviços, que podem minar a flexibilidade e a autonomia associadas ao trabalho autônomo genuíno (OECD, 2018r). Garantir bons resultados para todos os trabalhadores requer uma mistura de revisão da regulamentação do mercado de trabalho, bem como tornar a proteção social mais sustentável, eficaz e adaptável; e dar voz aos trabalhadores através dos sindicatos. Em alguns casos, novos modelos de negócios facilitados pela mudança tecnológica podem ter estimulado o crescimento do falso trabalho autônomo, ou seja, é quando se confundem em determinado momento quanto à flexibilização na prestação de serviços de um lado, com a limitação da independência no exercício da atividade profissional ou em razão de fatores peculiares do próprio mercado de trabalho, por outro lado (JOÃO, 2019).

Diferentes formas de trabalho mediadas por plataformas também podem ser facilitadas e ter implicações no que se refere à tributação. Os impostos sobre o trabalho são a maior

categoria de encargos em quase todos os países da OECD. Os diferenciais de impostos entre os tipos de emprego, portanto, têm o potencial de afetar significativamente os mercados de trabalho, bem como a receita das empresas. Por um lado, isso levanta questões sobre até que ponto as mudanças nos mercados de trabalho são impulsionadas pelos impostos e, por outro lado, levanta a questão de se e, como os sistemas fiscais precisam se adaptar a um aumento do trabalho atípico (OECD, 2019e).

O primeiro e melhor resultado da teoria tributária ideal é o princípio da neutralidade, ou seja, os formuladores de políticas devem garantir que os sistemas tributários sejam neutros em todas as formas de emprego. No entanto, alcançar este objetivo pode ser complicado se outras prioridades de políticas prevalecerem. Diferentes formas de trabalho têm diferentes características que podem merecer tratamento tributário diferente, por exemplo, diferenças no risco empresarial, direitos a benefícios sociais e despesas comerciais (MILANEZ, 2018). No entanto, se certas formas de emprego estão sujeitas a custos trabalhistas mais baixos e não salariais, isso deve ser uma escolha política deliberada (OECD, 2018r).

Dado que certos grupos parecem estar sub-representados em formas de trabalho atípico normalmente mulheres, jovens, os menos qualificados, trabalhadores com deficiência, trabalhadores em pequenas empresas e migrantes, aumentar a qualidade dos empregos sob demanda pode ajudar reduzir o risco de maior segmentação do mercado de trabalho. O design dos próprios mercados de plataforma, em particular sistemas de revisão e reputação, também pode ter efeitos adversos, como barreiras à entrada, que poderiam ser resolvidas, por exemplo, aumentando a portabilidade de reputações entre plataformas (OECD, 2016g). Além disso, se as empresas usarem essas formas de trabalho para evitar impostos e outras obrigações financeiras, existe o risco de que esse trabalho resulte na transferência de responsabilidades fiscais dos empregadores para governos e indivíduos.

Como a transformação digital 4.0 pode promover ainda mais formas de trabalho não padronizadas, esta ocorrência pode resultar na redução da segurança no emprego para muitos trabalhadores. Muitos podem não estar protegidos pelas regras padrão de contratação e demissão que se aplicam aos contratos por prazo indeterminado. Muitas vezes, regras mais flexíveis se aplicam, por exemplo, em casos de emprego temporário ou trabalho autônomo dependente, enquanto em outros casos, os trabalhadores são excluídos da legislação de proteção ao emprego, por exemplo, os autônomos. Para algumas das formas emergentes de trabalho, nem mesmo está claro qual é o status dos trabalhadores, quem é o empregador e quais regras devem ser aplicadas a eles (OECD, 2019e).

Em alguns casos, os governos podem querer considerar se os sistemas fiscais e de benefícios precisam ser estendidos e/ou adaptados a novas formas de trabalho, de modo que todos os trabalhadores recebam alguma proteção mínima e suas várias fontes de renda sejam incluídas no sistema tributário. A portabilidade dos direitos à seguridade social pode ajudar a prevenir a perda dos direitos aos benefícios quando os trabalhadores mudam de emprego, tipo de contrato e entram e saem do emprego. Os governos também podem considerar a expansão do papel dos esquemas não contributivos, de modo que ninguém fique sem proteção social como resultado de seu status de contrato. A regulamentação do mercado de trabalho e a política tributária devem, portanto, ser revistas para garantir a neutralidade entre as várias formas de trabalho e evitar formas atípicas de trabalho que criam dependências. Além disso, é importante evitar a arbitragem regulatória, resultando em empregadores e trabalhadores escolhendo contratos atípicos unicamente para contornar impostos e regulamentos sobre contratos regulares (OECD, 2019e).

É essencial que os países não apenas garantam que os regulamentos existentes sejam devidamente cumpridos, mas também examinem seus marcos legais para determinar se eles precisam ser atualizados e/ou ajustados para que todos os trabalhadores, independentemente do tipo de contrato, recebam direitos, benefícios e proteções adequados. Isso inclui legislação de proteção ao emprego, leis de salário-mínimo, políticas que determinam o horário de trabalho e assistência à saúde e segurança ocupacional. Os países também devem considerar como as regulamentações existentes podem ser aplicadas de forma mais eficaz em face de novos modelos de negócios, e quais medidas legais e regulamentares complementares podem ajudar (OECD, 2019e).

Por último, mas não menos importante, os governos podem promover o diálogo social e a negociação coletiva. Antecipar desafios e oportunidades futuras, encontrar soluções, gerenciar mudanças de forma proativa e moldar o mundo do futuro do trabalho que pode ser alcançado de forma mais fácil e eficaz se os empregadores, trabalhadores e seus representantes trabalharem em estreita colaboração com os governos em um espírito de cooperação e confiança mútua. Deve-se notar que, desde a década de 1980, o processo de representação e negociação coletiva tem sido questionado na OECD; a filiação sindical caiu de 30% para 17% e a proporção de trabalhadores abrangidos por acordos coletivos diminuiu de 45% para 33%. As formas de trabalho mediadas por plataforma aumentam o desafio de organizar e fortalecer a voz dos trabalhadores, uma vez que os indivíduos estão cada vez mais trabalhando sozinhos, separados por regiões, idioma e situação legal ou falta das informações necessárias, e em muitos países trabalhadores independentes - autônomos contratantes - não podem se sindicalizar, pois isso violaria a lei da concorrência (OECD, 2018r). No futuro, é importante entender como promover a

representação dos trabalhadores em um mundo onde formas flexíveis de emprego podem se tornar mais comuns.

Nesta subseção foi citado por muitas vezes o termo habilidade ou qualificação para o trabalhador ter oportunidades nessa nova revolução tecnológica da indústria 4.0, mas o que significa habilidade? Tarefa? É o que será estudado no capítulo 4.

4. TRANSFORMAÇÕES NA QUALIFICAÇÃO DO TRABALHADOR NA INDÚSTRIA

4.0

4.1. Considerações iniciais

Como salientamos anteriormente, estamos atualmente vivenciando uma mudança tecnológica totalmente diferente das anteriores. Vivemos conectados na internet e a vida passou a ser quase que totalmente online, conversamos por vídeo chamada, passamos mensagens via *WhatsApp*, compramos itens via digital, enfim estamos trabalhando e vivendo online. A nova onda tecnológica da indústria 4.0 ou de fronteiras, definirão o futuro do trabalho para os próximos anos.

Assim, como nas ondas tecnológicas anteriores, os trabalhadores tiveram que se adaptar as novas tecnologias, fizeram cursos de qualificação para obter conhecimento e assim se adequar ao novo mercado de trabalho. Porém, nessa nova onda tecnológica as formações educacionais formais, as qualificações serão mais complexas, pois envolverão habilidades que há pouco tempo começaram a se sobressair, como as cognitivas e sociais. Mas, quais serão essas mudanças na qualificação dos trabalhadores para poderem se inserirem nessa nova onda tecnológica?

4.2. Conceito de qualificação, habilidade e tarefa

Primeiramente, devemos conceituar qualificação pela literatura internacional para as habilidades ou competências dotadas pelo trabalhador. O sentido de qualificação é o nível de exigência de conhecimento e habilidades que as funções profissionais impõem e que postulam uma posição no mercado (OIT, 2012). Portanto, a qualificação está associada ao nível de escolaridade do trabalhador, pela complexidade das habilidades e conhecimento que se deve ter e a sua complexidade. Com isso, a qualificação foi deslocada para o perfil de conhecimento e experiência para a realização do cargo ocupado, esse deslocamento é essencial para entender os impactos da tecnologia sobre a qualificação do trabalhador (AUTOR; AGEMOGLU, 2010).

A literatura acadêmica tradicional determina o grau de qualidade de uma ocupação com base em sua remuneração média que implica: (i) que ocupações mais qualificadas são mais bem remuneradas; e (ii) que ocupações menos qualificadas são menos remuneradas. Essa premissa tradicional resulta no termo capital humano, que por sua vez, enfatiza a motivação do trabalhador em adquirir mais educação e capacitação para alcançar uma renda diferencial e mais elevada. O capital humano é conceituado como *“é o conjunto de competências, comportamentos, conhecimentos e habilidades que um profissional tem para realizar suas funções no trabalho”* (FREIRE, 2020, p. 1). Sendo assim, são as condições de mercado que definem se o trabalhador aceita ou não uma função aquém de sua qualificação ou se o empregador exige menos qualificação

do trabalhador para um cenário de escassez de mão de obra (PAVLIDOU; TSALIKI; VARDALACHAKIS, 2011).

A Classificação Internacional Uniformes de Ocupações (CIUO-08), define o trabalho como “*um conjunto de tarefas e obrigações desempenhadas por uma pessoa*” (OIT, 2012, p. 11), a ocupação como um “*conjunto de trabalhos, cujas principais tarefas e responsabilidades são caracterizadas por um alto grau de similaridade*” e o conceito de qualificação (*Skill*) como “*a habilidade de realizar tarefas e obrigações de um determinado trabalho*” (OIT, 2012, p.11). No conceito da CIOU-08 o nível de qualificação é medido considerando-se uma ou mais características em comum do trabalhador para o desempenho das tarefas e obrigações: (1) a natureza do trabalho; (2) o nível de educação formal exigido; e (3) a quantidade de treinamento informal e/ou a experiência prévia em uma ocupação (OIT, 2012).

Observa-se que a definição de qualificação da CIOU-08 traz obstáculos à nova era tecnológica, pois uma mesma função ocupada pode exigir graus diferentes de conhecimento técnico e até mesmo de conhecimento tácito. Mas também, pode ocorrer a obsolescência e desvalorização das habilidades conquistadas pelo trabalhador devido à velocidade dos avanços tecnológicos. A discussão central é se a adaptação dos espaços de trabalho a partir dos implementos tecnológicos leva a um ‘*Skill upgranding*’ ou melhoria de competências, que significa um complemento de habilidades ou a um ‘*Skill downgranding*’ ou rebaixamento das competências o que significa substituição das habilidades (DE GRIP; VAN LOO, 2002).

Portanto, teremos duas visões acerca desta adaptação: a dos pessimistas (*deskilling*) e os otimistas (*upskilling*). Na visão dos pessimistas, a associação ou complementariedade entre tecnologia e a qualificação muda ao longo do tempo. Adam Smith (1996) alertava que a divisão do trabalho levada ao extremo a partir da industrialização poderia levar a um redução geral do conteúdo das habilidades nas ocupações substituindo as tradicionais ocupações de artesões por trabalho de rotina exaustante. Marx (1996) no século XIX, critica o caráter *downgranding*, que é a deterioração das habilidades dos trabalhadores (PONTES, 2019). Portanto, a simples interação com uma máquina pode fazer com que uma ocupação tipicamente pouco qualificada torne-se em um trabalho semiqualficado, sendo que os semiqualficados recebem pouca instrução, o que será suficiente para realizar seu trabalho e não necessitam de anos de estudo para executar suas atividades (BRAVERMAN, 1998).

Já para os otimistas (*upskilling*) houve um aumento do trabalho qualificado a partir da industrialização, esse aumento substituiu os artesões. Nesse contexto há duas possibilidades: (1) os fatores de produção física, além do trabalho, aumentando a produtividade; e (2) o progresso técnico por não ser neutro em incrementos em tecnologia resultam em incrementos na

produtividade. Sendo assim, a implementação de novas tecnologias atrai o ingresso de trabalhadores altamente qualificados em detrimento do esvaziamento dos menos qualificados (KATZ; MARGO, 2014).

Assim, para Acemoglu (1997, p. 29):

[...] tão importante quanto a magnitude da mudança tecnológica é a sua direção, ou seja, quanto mais trabalhadores qualificados existirem, o mercado para novas tecnologias complementares, e suas habilidades serão maiores, portanto, mais será inventado.

Dessa forma, o investimento em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) tende a aumentar para promover o desenvolvimento mais rápido de novas tecnologias. Nesse sentido, o impacto da computação na demanda do trabalho tem dois efeitos opostos: (1) aumento da participação de trabalho qualificado em detrimento de trabalho não qualificado; e (2) redução da quantidade de trabalho qualificado por unidade produzida a partir do crescimento da produtividade do trabalho.

Portanto, a mudança na estrutura ocupacional em favor dos empregos mais qualificados não se deve ao efeito *upskilling*, mas às mudanças para estruturar as economias, que a inovação disruptiva gera ao ofertar ao mercado novos produtos e serviços, incorrendo na necessidade de criar funções e posições em detrimento indireto de setores que perderam espaço na economia em constante destruição criativa (SCHUMPETER, 1961), que, por sua vez, pode ser *upskilling* (otimista) ou *deskilling* (pessimista) (PONTES, 2019).

A visão otimista (*upskilling*) avançou para dois tipos de hipóteses, que prevalecem até hoje nos meios acadêmicos: (1) a hipótese *Skill-Biased Technical Change* (SBTC); e (2) a hipótese *Routine-Biased Technological Change* (RBTC). A hipótese SBTC formaliza que a mudança tecnológica é direcionada aos trabalhadores mais qualificados em detrimento dos menos qualificados, enquanto a hipótese RBTC cria um fenômeno de polarização do mercado de trabalho que não pode ser explicada pela hipótese SBTC (AUTOR; LEVY; MURNAME, 2000).

A hipótese SBTC pode ser traduzida como a mudança tecnológica enviesada para a qualificação e a hipótese RBTC relaciona a polarização da estrutura ocupacional à exploração da produtividade e ao declínio dos preços das tecnologias de informação e comunicação, principalmente os computadores como demanda de trabalho qualificado (ACEMOGLU, 1997).

A hipótese SBTC é forjada na associação entre tecnologias e habilidade (ACEMOGLU, 1997), já na hipótese RBTC, as ocupações de dado nível de qualificação passaram a ser desempenhadas por tecnologia de computação, enquanto outras ocupações de conteúdo equivalente em qualificação exigida não sofreram o mesmo impacto (AUTOR; LEVY; MURNAME, 2000).

A hipótese SBTC supõe uma associação entre os investimentos em educação e os investimentos em capital físico, o que evidencia o tratamento similar entre tecnologia e qualificação, que resulta na sua complementariedade (PAVLIDOU; TSALIKI; VARDALACHAKIS, 2011). Suas características são: (i) cenário de aumento exógeno da oferta de trabalho qualificado; (ii) redução do *skill premium*, ou seja, o salário relativo do pessoal qualificado pelo deslocamento da curva de oferta, em um movimento descrito como efeito substituição; e (iii) no longo prazo há uma aumento do protagonismo do efeito tecnológico, que é explicado pelo aumento da oferta de trabalhadores mais qualificados o que eleva a lucratividade de tecnologias complementares ao trabalho qualificado, podendo compensar o efeito substituição de imediato (ACEMOGLU, 1997).

Portanto, o efeito da atuação da tecnologia por si demonstra que quanto maior a qualificação da oferta de trabalho, maior será a parcela de novas tecnologias complementares ao trabalho qualificado, o que explica a gradual complementariedade entre tecnologia e qualificação ao longo do tempo (ACEMOGLU, 1997).

A hipótese SBTC cria um novo paradigma técnico-econômico ao estimular o emprego de profissionais em funções técnicas e gerenciais. Assim, identifica que a inovação de produto pode gerar mais oportunidades de emprego em posições gerenciais, enquanto a inovação de processo leva à destruição de empregos, sobretudo para trabalhadores manuais que são substituídos por máquinas. Isso é mais verificado na indústria do que no setor de serviços (AUTOR; LEVY; MURNAME, 2000). A hipótese RBTC critica a hipótese SBTC no que tange que a SBTC é válida quando se observa o comportamento intra ocupacional do mercado de trabalho dentro de cada ocupação isoladamente. Portanto, ela explica que a mudança na estrutura ocupacional sobre as tarefas em vez de focar a qualificação associada à análise de habilidades, reorientando a perspectiva para as tarefas. Segundo Autor e Acemoglu (2010, p. 2) definem tarefa como “*uma unidade de atividade de trabalho que produz bens e serviços*” e definem habilidades como “*o conjunto de capacidades dotadas por um trabalhador para realizar várias tarefas, ou seja, é o que as pessoas sabem (habilidades) e o que as pessoas fazem (tarefas).*”

Na hipótese RBTC a locação é endógena para habilidade em tarefas de acordo com os preços praticados no mercado de trabalho. Portanto, a crítica à hipótese SBTC é que as habilidades dotadas pelos trabalhadores não são necessariamente colocadas em execução nas suas ocupações, pois a demanda real das empresas é pela execução das tarefas, importando o que os trabalhadores fazem e não apenas o que os trabalhadores sabem (AUTOR; ACEMOGLU, 2010). Sendo assim, a hipótese RBTC separa as tarefas em atividades de rotina e de não rotina e por outro lado em atividades manuais ou cognitivas. Portanto, a hipótese RBTC supõe que a tecnologia

substitui potencialmente as ocupações constituídas essencialmente de tarefas de rotina de qualquer natureza (CHEREMUKHIN, 2014).

Então, as habilidades de raciocínio lógico que exigem maior tempo de escolaridade são mais facilmente automatizáveis que certas habilidades de percepção e mobilidade que dependem do conhecimento tácito. Segundo Autor (2015, p. 25):

O conhecimento tácito é um desafio para a computerização porque, se as pessoas entenderem como desempenhar uma tarefa apenas tacitamente e não puderam dizer a um computador como desempenhar esta tarefa, aparentemente os programadores não poderão automatizá-la.

Já a demanda por tarefas de rotina, seja manual ou cognitiva, tende a ser preenchida pela automação, e independe do nível de qualificação do trabalhador (AUTOR, 2015). A Figura 4, reproduz a matriz de classificação da ocupação na perspectiva da hipótese RBTC elaborada por Cheremukhin (2014).

Figura 4 – Matriz de classificação das ocupações

	Rotina	Não-rotina
Manual (colarinho azul)	Produção Artesanato Operação Manutenção	Serviço de alimentação Cuidado pessoal Serviços de proteção
Cognitivo (colarinho branco)	Administrativo Serviços de escritório Vendas	Profissional Técnico Gerencial

Fonte: Adaptado de CHEREMUKHIN (2014, p. 2) – (Elaboração própria)

Nota:

Média Qualificação
Baixa Qualificação
Alta Qualificação

4.3. As habilidades necessárias para o futuro do trabalho

Equipar os indivíduos com uma ampla gama de qualificações transformadoras para atender as necessidades do mercado de trabalho, e tornando os trabalhadores mais responsáveis e inovadores em um mundo complexo é essencial para os países promoverem o crescimento econômico dentro de uma economia cada vez mais digitalizada com as tecnologias 4.0 (WORLD BANK, 2019).

Sendo assim, se faz necessário investigar como a transformação digital afetará e já está afetando o mundo do trabalho, com foco específico nas habilidades e como as novas tecnologias da indústria 4.0 mudam (i) os requisitos de qualificações e (ii) a utilização e o desenvolvimento de habilidades. Essa análise será feita em grande parte ao nível de ocupações,

que parece ser o nível mais relevantes para examinar as implicações da transformação digital para as necessidades de qualificações (OECD, 2019c).

Construir habilidades eficazes envolve a mobilização de conhecimentos, habilidades, atitudes e valores para atender as demandas complexas do mercado de trabalho 4.0. O Quadro 4, resume os tipos de habilidades que são cada vez mais essenciais para o sucesso no mercado de trabalho e na vida (WORLD BANK, 2019).

Quadro 4 – Tipos de habilidades essenciais para o futuro do trabalho

Tipos de habilidades	Características
Básicas	Inclui alfabetização, matemática e alfabetização digital, que terão que ser dominados em alto nível para que as pessoas se adaptem às mudanças em seus empregos e na sociedade. As pessoas equipadas com fortes habilidades básicas serão mais bem posicionadas para adquirir novos conhecimentos e desenvolver outras habilidades, como analíticas, sociais e emocionais.
Cognitivas e metacognitivas transversais	Pensamento crítico, resolução de problemas complexos, pensamento criativo, aprendendo fazendo, aprendendo a aprender, autorregulação. São necessários não apenas para responder aos desafios do futuro, mas também para remodelar o futuro do trabalho.
Sociais e emocionais	Consciência, responsabilidade, empatia, autoeficácia e colaboração. Ajudam as pessoas a serem mais gentis e obter sociedades mais tolerantes.
Profissional	Conhecimento técnico e especializado e habilidades necessárias para atender a demanda de ocupações específicas, mas também, com um potencial de transferência de conhecimento para ser aplicável em novos campos ainda desconhecidos.

Fonte: Adaptado WORLD BANK (2019) – (Elaboração própria)

A digitalização muda profundamente o mundo do trabalho, o que as pessoas fazem no trabalho, como e onde trabalham, as habilidades de que precisam para permanecer no mercado de trabalho em um mundo em constante mudança e o tipo de progressão na carreira que podem ter. A transformação digital envolve muitas tecnologias, como a IA, IoT, 5G, robótica avançada, aprendizado de máquinas, etc., e portanto, muda o mercado de trabalho de muitas maneiras diferentes (OECD, 2019b).

A utilização da internet pela maioria dos trabalhadores, a possibilidade de automatizar um leque cada vez maior de tarefas e a oportunidade de fornecer qualificações através de plataformas online têm implicações diferentes para os trabalhadores e requerem abordagens diferentes de políticas públicas por parte dos governos. Os efeitos da transformação digital vão além dos setores de manufatura e dos setores tradicionais de alta tecnologia e exigem muito mais

do que garantir que todos ou alguns trabalhadores tenha habilidades em tecnologia da informação e comunicação (OECD, 2019c).

A transformação digital muda as ocupações de três maneiras principais que têm implicações para a oferta e demanda para habilidades dos trabalhadores: (1) as novas tecnologias 4.0 transformam as ocupações, de maneira que algumas tarefas serão automatizadas, outras tarefas a tecnologia as complementa. No geral, as tarefas realizadas em cada ocupação mudam e, portanto, a demanda por habilidades também muda. Essas mudanças afetam a maioria dos trabalhadores que precisam adaptar as habilidades para o novo mercado de trabalho; (2) as novas tecnologias tornam algumas ocupações menos necessárias na economia. Em algumas ocupações, a maioria das tarefas pode ser automatizada, tornando mais provável que essas ocupações desapareçam no futuro. Os trabalhadores nessas ocupações podem precisar mudar de ocupação para permanecer no emprego, o que exigiria que adaptassem seus conjuntos de habilidades e talvez adquirissem novas habilidades e novos conhecimentos. Embora, as avaliações do risco de automação variem, junto com o número de empregos que podem desaparecer, são necessárias políticas que preparem os trabalhadores para esse risco; e (3) as tecnologias criam novas ocupações e novas formas de fornecer habilidades ao mercado. Desenvolvem-se novas ocupações que envolvem diretamente novas tecnologias, como por exemplo, especialista em *Big Data*. As preferências de bem-estar e lazer podem mudar, levando à expansão de outras ocupações, por exemplo, treinadores esportivos. As plataformas online levam a grandes mudanças em alguns setores, mas também facilitam o trabalho autônomo para uma ampla gama de trabalhadores. As pessoas precisam ter as habilidades necessárias para se beneficiar dessas novas oportunidades (WORLD BANK, 2019).

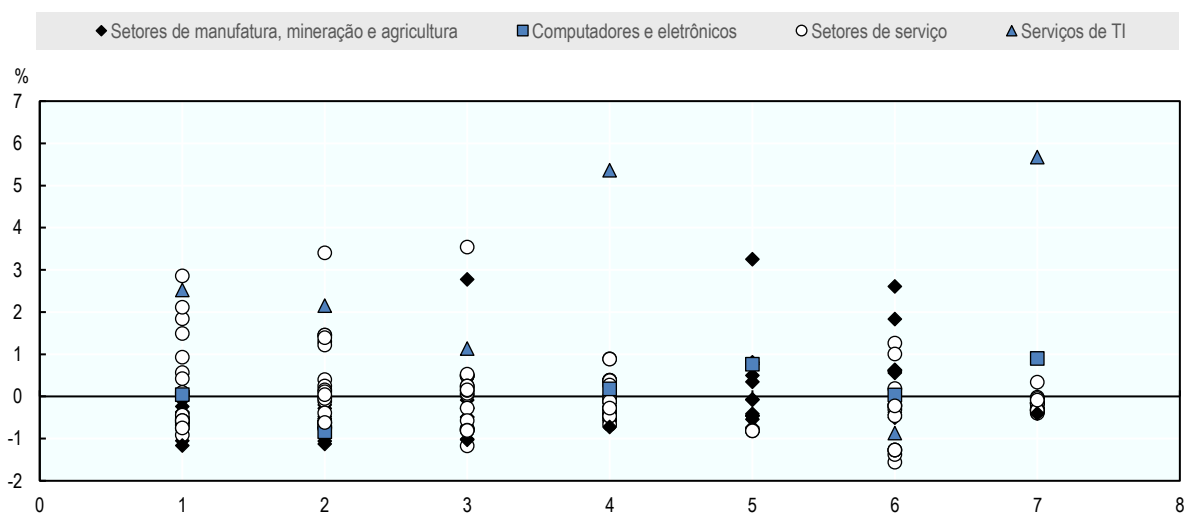
No geral, para aproveitar ao máximo a transformação digital, as políticas precisam garantir que os trabalhadores tenham e desenvolvam as habilidades para se adaptar às mudanças nas ocupações e navegar entre as ocupações. Em outras palavras, as pessoas precisam ter as habilidades para serem resilientes e móveis (OECD, 2019c). A transformação digital 4.0 afetará grande parte dos trabalhadores. Os dispositivos digitais, a conectividade, software e dados estão mudando profundamente a organização da produção, a organização dentro das empresas, o que as pessoas fazem no trabalho e a maneira como trabalham e uma parcela cada vez maior de pessoas terá que trabalhar com as novas tecnologias (OECD, 2019b).

Os trabalhadores estão usando cada vez mais tecnologia, mesmo aqueles que não usam tecnologias digitais tão intensivamente, podem descobrir que a natureza de seu trabalho muda à medida que as tarefas são cada vez mais automatizadas. A digitalização, também cria riscos de desaparecimento de empregos. O progresso da inteligência artificial e o aprendizado de máquina, ou seja, as tecnologias da indústria 4.0 geram possibilidades de automatizar partes do

processo de produção, criando máquinas inteligentes que trabalham, aprendem e reagem como humanos. A implantação de robôs industriais avançados está transformando os processos de produção, principalmente no setor manufatureiro, atraindo muita atenção da mídia e do público (WORLD BANK, 2019).

A transformação digital possui muitas facetas, que são difíceis de resumir em um único indicador. Implica em investir e desenvolver as mais avançadas ferramentas digitais, integrando-as na produção com a ajuda de trabalhadores com qualificações adequadas e utilizando-as no relacionamento com clientes e fornecedores (CALVINO; CRISCUOLO; MARCOLIN; SQUICCIARINI, 2018). Quando a natureza multidimensional da transformação digital é levada em consideração, fica claro que a adoção de tecnologias digitais também difere substancialmente entre os setores, conforme ilustrado no Gráfico 9. Os países avançados adotantes de tecnologias avançadas, incluem não apenas o setor de TICs, como se poderia esperar, mas também alguns setores de serviços, finanças e seguros. Além disso, embora a maioria das empresas tenha acesso a redes de banda larga, há grandes diferenças entre elas no uso de tecnologias digitais mais avançadas, em particular as pequenas e médias empresas (PMEs) (ANDREWS; NICOLETTI; TIMILIOTIS, 2018).

Gráfico 9 – Dispersão dos setores na adoção de tecnologias 4.0 – países membros da OECD (2013-2015)



Fonte: Extraído OECD (2017, p. 38)

Nota: 1) Na linha horizontal: 1 = Investimento em Software; 2 = Investimento em ativo tangível em TIC; 3 = Bens de TIC intermediário; 4 = Serviços de TIC intermediário; 5 = Uso de Robôs; 6 = receitas de vendas on-line e 7 = Especialistas em TICs (tradução nossa).

2) Todos os indicadores subjacentes são expressos em intensidades setoriais. Para cada indicador, os valores setoriais são médias entre países e anos. Esses valores são então padronizados em relação à média, de modo que a série resultante por indicador tem média zero e desvio padrão 1 (tradução nossa).

A tecnologia permite que os trabalhadores realizem algumas tarefas com mais eficácia, complementando as suas habilidades. Por exemplo, os gerentes usam software de computador para organizar os trabalhos de sua equipe, monitorar resultados e aumentar a produtividade coletiva. Nos supermercados, scanners aumentam substancialmente a velocidade e a eficiência dos operadores de caixa. Embora a tecnologia possa aumentar a produtividade de trabalhadores altamente qualificados e pouco qualificados, geralmente favorece o trabalho qualificado em relação ao não qualificado, aumentando sua produtividade relativa. As tecnologias da informação tendem a complementar a mão de obra qualificada, um efeito conhecido como mudança tecnológica tendenciosa para a qualificação (ACEMOGLU, 1997).

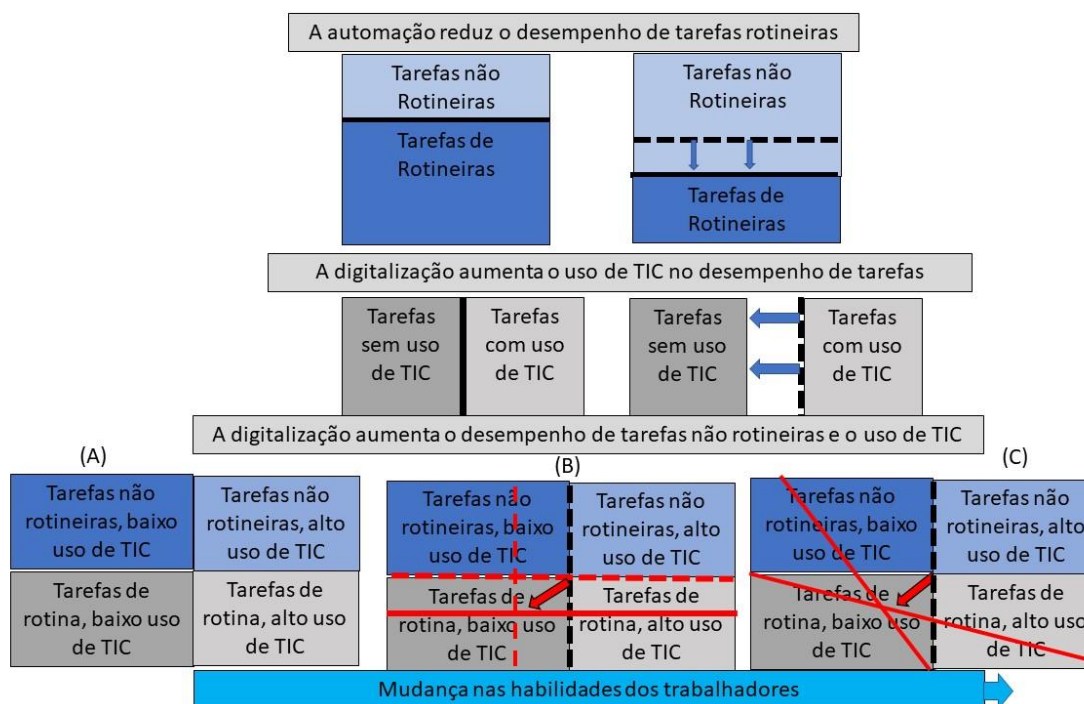
A nova tecnologia também poderá substituir os trabalhadores. Os computadores, softwares e robôs podem realizar tarefas rotineiras, como aquelas que envolvem atividades manuais como por exemplo, montagem, embalagem, etc., e aquelas que podem ser realizadas seguindo regras explícitas bem definidas (AUTOR; LEVY; MURNANE, 2000).

De uma forma geral, a digitalização com tecnologias da indústria 4.0 afeta os trabalhadores de duas maneiras principais: (1) um efeito de complementaridade, quando a tecnologia permite que os trabalhadores realizem tarefas, como pesquisar informações ou se comunicar com colegas ou clientes, de maneira diferente e talvez com mais eficiência. Uma parcela cada vez maior de trabalhadores que realizam tarefas de resolução de problemas e comunicação usam ferramentas de TICs no trabalho; e (2) um efeito de substituição, quando a tecnologia substitui os trabalhadores no desempenho de algumas tarefas rotineiras que são mais fáceis de automatizar, o efeito de substituição diminui a intensidade de tarefas rotineiras dos trabalhos (WORLD BANK, 2019).

Com a digitalização, os trabalhadores realizam mais tarefas não rotineiras com uso intensivo das TICs e menos tarefas não rotineiras sem o uso de tecnologia, conforme ilustrado na Figura 5, passando de 'A' para 'B'. Os trabalhadores podem ter computadores para complementar a execução de tarefas rotineiras, embora seja provável que essas tarefas acabem sendo totalmente automatizadas. Cada vez mais, os computadores complementam os trabalhadores em tarefas não rotineiras, enquanto algumas tarefas rotineiras que não envolvem as TICs continuam a serem realizadas pelos trabalhadores, por exemplo, aquelas que envolvem o contato face a face. Em geral, os trabalhadores tendem a realizar mais tarefas não rotineiras e intensivas em tecnologia ou tarefas rotineiras não intensivas em TICs, conforme ilustrado pela mudança de 'A' para 'C' na Figura 5 (OECD, 2019c). Também, se observa que as mudanças nas habilidades dos trabalhadores de 'A' para 'B' é uma mudança de tarefas rotineiras e rotineira com baixo uso em TICs com sua redução e aumento em direção à tarefas não rotineiras e rotineiras com alto uso de TICs, conforme indica

a seta em vermelho, porém essas mudanças podem ou não ocorrer (linha pontilhada em vermelho) devido que o grau de automação não ser tão acentuado. As transformações nas habilidade de ‘B’ para ‘C’ ocorre o mesmo fenômeno de ‘A’ para ‘B’, porém elas estão ocorrendo em maior frequência pois o grau de automação de tarefas rotineiras estão mais acentuadas com as tecnologias 4.0.

Figura 5 – Mudanças nas tarefas realizadas pelos trabalhadores devido à automação



Fonte: Adaptado OECD (2019c, p. 44) – (tradução nossa)

A digitalização do trabalho altera os requisitos e o desenvolvimento de qualificações. Como algumas tarefas são automatizadas (efeito de substituição), algumas habilidades são menos necessárias, enquanto outras se tornam mais importantes. Como os trabalhadores utilizam a tecnologia (efeito de complementaridade), eles trabalham de forma diferenciada, o que afeta a forma como desenvolvem suas qualificações. Há uma dinâmica contínua e auto reforçada entre as habilidades dos trabalhadores e as tarefas realizadas. A tecnologia está modificando os conjuntos de tarefas que os trabalhadores executam e complementando seus conjuntos exclusivos de habilidades, mas não substituindo totalmente os humanos (CAVOUNIDIS; LANG, 2017).

Embora, estes ainda sejam os primeiros dias para algumas das tecnologias mais avançadas, como a inteligência artificial (IA), exemplos que variam de ocupações pouco qualificadas a altamente qualificadas sugerem que a tecnologia levou a efeitos de substituição e

complementaridade, mas não substitui os humanos inteiramente. Em vez disso está modificando a composição das tarefas dos trabalhadores e reforçando e complementando seu conjunto exclusivos de habilidades. Alguns exemplo práticos estudados:

(i) Trabalhadores em armazém e da cadeia de produção. Os robôs foram adotados em muitas indústrias, mas os sistemas mais automatizados ainda tendem a não ter flexibilidade. As fábricas de automóveis modernas, por exemplo, empregam robôs industriais para instalar para-brisas em veículos novos à medida que se movem pela linha de montagem. No entanto, as empresas de serviços de troca de para-brisas quebrados ou trincados empregam técnicos em vez de robôs. A Amazon automatizou parte de seu depósito e os robôs lidam com tarefas rotineiras, como mover prateleiras. No entanto, a empresa continua a empregar muitos trabalhadores para localizar e manusear mercadorias, etiquetar e despachar mercadorias. Em muitas, situações, a automação não é adequada para um ambiente flexível, então a maior adaptabilidade dos trabalhadores lhes dá uma vantagem comparativa sobre os robôs (BESSEN, 2015).

(ii) Caixas de supermercados. Desde a introdução das máquinas de *checkout* automático, o papel dos caixas passou a ser o de ajudar os clientes. Sua função agora pode consistir em ajudar os clientes a usar adequadamente as máquinas de auto verificação, bem como monitorar se as máquinas estão funcionando corretamente. Os caixas também são realocados na loja para outras tarefas, como atendimento ao cliente e vendas. No entanto, as lojas geralmente continuam a oferecer caixas tradicionais, porque algumas pessoas preferem interagir com um ser humano de que com uma máquina. Esse valor social atribuído às relações humanos dá aos trabalhadores um novo tipo de vantagem comparativa sobre as máquinas, mesmo em ocupações de baixa qualificação que tecnicamente poderiam ser automatizadas. Por razões semelhantes, é provável que trabalhos como enfermagem ou cuidador de idosos continuem a ser trabalhosos, embora seja menos automatizáveis (ANDREWS, 2009).

(iii) Caixas de banco. Nos Estados Unidos, o número de terminais de autoatendimento mais que quadruplicou entre 1990 e 2010. No entanto, essa expansão não resultou em queda no número de caixas de banco. Em vez disso, a automação das tarefas rotineiras de manuseio de dinheiro modificou o papel dos caixas de banco, que passaram a fomentar o relacionamento com o cliente. Espera-se que os caixas de banco sejam vendedores em vez de balconistas. O surgimento de caixas eletrônicos mudou o conteúdo das funções dos caixas de banco. A tecnologia substitui esses trabalhadores na execução de tarefas rotineiras e os complementa no desempenho de tarefas não rotineiras (BESSEN, 2015).

A forma como a tecnologia entra no local de trabalho é influenciada pelas habilidades dos trabalhadores, práticas gerenciais e vários outros fatores específicos da empresa e

da indústria que determinam a organização do trabalho e da produção, e a capacidade de mudança. As políticas que afetam a organização da produção desempenham um papel fundamental na definição da adoção de novas tecnologias (MILGROM et al., 1990). Também, é importante adotar a tecnologia como parte de um pacote organizacional geral (BRYNJOLFSSON; RENSHAW; VAN ALSTYNE, 1997). A estrutura organizacional, habilidades e competição foram sugeridas como os fatores que desempenham o papel mais importante da adoção de tecnologias (ANDREWS; NICOLETTI; TIMILIOTIS, 2018).

As políticas também têm uma influência na medida em que a tecnologia substituirá ou complementarás predominantemente as qualificações dos trabalhadores e, portanto, o impacto da transformação digital nos níveis de emprego e no crescimento. Os investimentos que complementam a própria tecnologia incluem habilidades, em mudança organizacional, em novos processos e modelos de negócios, e também em ativos intelectuais que ajudem a criar valor a partir de novas tecnologias (OECD, 2018o).

Até agora, não há consenso sobre o impacto geral da transformação digital no emprego e nas habilidades dos trabalhadores, porque é difícil levar em conta os aspectos multifacetados da transformação digital e porque empregos serão criados e destruídos. No entanto, há cada vez mais evidências que isso resulta em uma reestruturação considerável do mercado de trabalho, afetando assim a distribuição de empregos, salários e rendas. Os trabalhadores altamente qualificados tendem a se beneficiar mais com as mudanças tecnológicas, pois possuem habilidade que complementam a tecnologia na realização de tarefas não rotineiras, como resolução de problemas complexos ou atividades de comunicação criativa. Como resultado, nas últimas décadas, a proporção de empregados em empregos altamente qualificados, e, em certa medida, em empregos de baixa qualificação aumentou, enquanto a proporção de empregados em empregos de média qualificação diminuiu (OECD, 2018o).

No longo prazo, entretanto, os trabalhadores poucos qualificados são os que mais provavelmente arcarão com os custos da transformação digital. Embora, algumas tarefas altamente qualificadas também enfrentem o risco de automação, os trabalhadores poucos qualificados parecem mais propensos a perder seus empregos, enfrentam uma concorrência cada vez maior por empregos de média qualificação que são menos propensos de se adaptar às novas tecnologias e as práticas de trabalho tecnológico e, também, têm menos probabilidade de se beneficiar das novas oportunidades que surgem como resultado da transformação digital (OECD, 2019c; WORLD BANK, 2019).

Por outro lado, existem disparidades dentro dos países e também entre eles, visto que novos empregos aparecem em lugares diferentes daqueles onde foram perdidos. As regiões

não estão igualmente preparadas para enfrentar o impacto da transformação digital. Em países com diferenças regionais importantes na dotação de qualificações, as empresas de alta tecnologia criam empregos com o seu rápido crescimento, essas empresas têm maior probabilidade de se concentrar em regiões com trabalhadores altamente qualificados. Os trabalhadores pouco qualificados enfrentam maiores dificuldades para encontrar trabalho nessas regiões, pois têm que competir com os trabalhadores mais qualificados. Essas desigualdades geográficas podem exacerbar as desigualdades sociais e criar tensão entre as classes dos trabalhadores (OECD, 2019b).

O debate sobre quais as qualificações dos trabalhadores para uso das tecnologias da indústria 4.0 é ainda uma incerteza para o futuro do trabalho, porém há evidências que podem direcionar o Estado para as políticas de inserção do trabalhador ativo e promover as qualificações necessárias para a força de trabalho futuro, é uma missão difícil, mas não impossível.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Quarta Revolução Industrial com as tecnologias desenvolvidas da indústria 4.0, proporcionarão oportunidades de emprego e renda para as pessoas de alta qualificação e que executam tarefas não rotineiras. Para as pessoas de baixa qualificação e média qualificação o risco de verem seus empregos serem automatizados é grande e conseqüentemente sofrerão perdas significativas de renda.

Os empregos de boa qualidade, ficarão com um grupo de pessoas com capacidade de se tornarem altamente qualificadas para trabalhar com as tecnologias 4.0. Isso, provavelmente acarretará e já está acarretando a polarização dos empregos de baixa qualificação e alta qualificação, pois o último receberá um prêmio maior pela execução de suas tarefas, principalmente aqueles com capacidade para resolver problemas de alta complexidade, pensamento crítico e criativo, portanto, as disparidades entre os países capitalistas centrais e os países subdesenvolvidos periféricos continuarão aumentando, como foi no passado com as primeiras revoluções industriais.

O futuro do trabalho sofrerá transformações que a humanidade nunca experimentou antes com a interconectividade das tecnologias 4.0. O trabalhador comum de baixa qualificação perderá direitos trabalhistas e conseqüentemente haverá a precarização do trabalho se os governos, sociedades civis e sindicatos não se envolverem para promover a transição dos trabalhadores da ativa que correm alto risco de automação de seus empregos, que tenderão a ficar desempregados por longo período.

O treinamento dos trabalhadores devem ser promovidos em parceria com as empresas, governos, sociedade organizada e sindicatos. Pode ser uma tarefa difícil, mas não impossível. O bem-estar dos trabalhadores dependerá de seu engajamento para a utilização das novas tecnologias 4.0 nos seus trabalhos, em suas tarefas e em suas vidas privadas.

Os países membros da OECD já estão estudando como fazer essas transformações na educação formal. As qualificações obtidas informalmente, também estão sob estudo nesses países para que sejam reconhecidos pelas empresas, proporcionando aos trabalhadores que aderirem a essas novas tecnologias, mobilidade profissional, ou seja, que saiam de empresas com pouco uso de tecnologias para empresas com alto uso de tecnologias 4.0.

Conforme mostrado, a evolução de mercado que essas tecnologias trarão e já estão trazendo, são enormes e com ótimas oportunidades de trabalho e ganho de renda acima da média. Porém, devido a estudos alarmistas, as pessoas tendem a ser resistentes na adoção dessas tecnologias, gerando assim um pessimismo e ansiedade com relação aos empregos no futuro.

Como nas revoluções anteriores, a Quarta Revolução Industrial com sua indústria 4.0, trarão turbulências no mercado de trabalho e já está trazendo nos dias atuais. O importante é compreender o que é a indústria 4.0, seu funcionamento, suas oportunidades, quais as habilidades necessárias e como treinar os trabalhadores para que façam uma transição segura para as novas tecnologias sem grandes conturbações.

Afinal as tecnologias 4.0 vieram para ficar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABU-MOSTAFA, Y. S. Machines that think for themselves. **Scientific American**. Califórnia, Estados Unidos. Vol. 307, pp. 78–81, julho de 2012. Disponível em: <https://home.caltech.edu/paper/sciam2012.pdf>. Acesso em: 13 de setembro de 2021.

AGRAWAL, A.; GANS, J.; GOLDFARB, A. **Prediction Machines: The Simple Economics of Artificial Intelligence**. 1ª Edição. Boston: Harvard Business Review Press, Massachusetts, 2018.

ACEMOGLU, D. Why do new technologies complement skills? Directed technical change and wage inequality, **The Quarterly Journal of Economics**, Vol. 113/4, pp. 1055-1089, 1997. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1162/003355398555838>. Acesso em: 27 de novembro de 2021.

ACEMOGLU, D.; RESTREPO, P. Robots and jobs: evidence from US labor markets. **Journal of Political Economy**, vol. 128, no. 6. University de Chicago, 2020. Disponível em: <https://economics.mit.edu/files/19696>. Acesso em: 14 de setembro de 2021.

_____. **Robots and jobs: Evidence from US labor markets**. NBER Working Paper No. 23285, 2017. Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w23285>. Acesso em: 6 de janeiro de 2022.

_____. Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor. **Journal of Economic Perspectives**. Vol. 33, nº 2, pp. 3–30, 2019. Disponível em: <https://pubs.aeaweb.org/doi/pdfplus/10.1257/jep.33.2.3>. Acesso em: 11 de setembro de 2021.

ACEMOGLU, D.; AUTOR, D. **Skills, tasks and technologies: implications for employment and earnings**. Elsevier B.V: Handbook of Labor Economics, 1ª edição Vol. 4b, pp 1043–1171, 2011. Disponível em: <https://economics.mit.edu/files/7006>. Acesso em: 15 de setembro de 2021.

ACEMOGLU, D. Why do new technologies complement skills? Directed technical change and wage inequality. **Massachusetts Institute of Technology (MIT)**. Department of Economics, nº 97, p. 15. 1997. Disponível em: <https://economics.mit.edu/files/3809>. Acesso em: 23 de outubro de 2021.

ADERMON, A.; GUSTAVSSON, M. Job polarization and task-biased technological change: evidence from Sweden, 1975–2005. **The Scandinavian Journal of Economics**. Vol. 117, nº 3, pp.878–917, 2015. Disponível em: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:444006/FULLTEXT01.pdf>. Acesso em: 24 de outubro de 2021.

AKERMAN, A.; HELPMAN, E.; ITSKHOKI, O.; MUENDLER, M. A.; REDDING, S. Sources of wage inequality. **American Economic Association Review**. Estados Unidos. vol. 103, nº3, pp. 214–219, 2013. Disponível em: <https://dash.harvard.edu/bitstream/handle/1/25586658/aer.103.3.214.pdf;jsessionid=00F4F63CDFB5866E726B570DE42A2E60?sequence=1>. Acesso em: 1 de novembro de 2021.

ALMEIRA, P.S.D. **Indústria 4.0 - Princípios Básicos, Aplicabilidade e Implantação na Área Industrial**. 1ª Edição. São Paulo: Editora Saraiva, 2019.

ANDERSSON, F.; FREEDMAN, M.; HALTIWANGER, J.; LANE, J.; SHAW, K. Reaching for the stars: who pays for talent in innovative industries? **National Bureau Of Economic Research**. Working Paper 12435, 2009. Disponível em:

https://www.nber.org/system/files/working_papers/w12435/w12435.pdf. Acesso em: 5 de outubro de 2021.

ANDERSON, M. AI and the future of work: the prospects for tomorrow's jobs. **IEEE Spectrum: Technology, Engineering, and Science News**, 2019. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/ai-and-the-future-of-work-the-prospects-for-tomorrows-jobs>. Acesso em: 12 de setembro de 2021.

ANDREWS, D.; NICOLETTI, G.; TIMILIOTIS, C. **Digital technology diffusion: A matter of capabilities, incentives or both?** OECD Economics Department Working Papers, No. 1476, OECD Publishing, Paris, 2018. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1787/7c542c16-en>. Acesso em: 29 de novembro de 2021.

ANDREWS, C. Do-It-Yourself: Self-checkouts, Supermarkets, and the **Self-Service Trend in American Business**, University of Maryland, 2009. Disponível em: <https://drum.lib.umd.edu/handle/1903/9593?show=full>. Acesso em: 24 de novembro de 2021.

ANDRIEU, E.; MARCOLIN, L.; SQUICCIARINI, M.; JAMET, S. **Occupational transitions: The cost of moving to a 'safe haven'**. OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, n° 61, OECD Publishing, Paris, 2019. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/>. Acesso em: 20 de janeiro de 2022.

ARNTZ, M.; GREGORY, T.; ZIERAHN, U. Revisiting the risk of automation. **Economics Letters**. Vol. 159, pp. 157–160. Alemanha, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/318108672_Revisiting_the_Risk_of_Automation. Acesso em: 16 de setembro de 2021.

AUERSWALD, P.E. Entry and Schumpeterian Profits: How Technological Complexity Affects Industry Evolution. **Journal of Evolutionary Economics**, Suíça. v. 20, n° 4, pp. 553–582, 2010. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1435821. Acesso em: 1 de agosto de 2021.

AUTOR, D. H. Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. **Journal of Economic Perspectives**, vol. 29, n° 3, pp. 3-30, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1257/jep.29.3.3>. Acesso em: 22 de novembro de 2021.

AUTOR, D.; MINDELL, D.; REYNOLDS, E. The Work of the Future: Building Better Jobs in an Age of Intelligent Machines. **MIT Work of the Future**, vol. 92, 2020. Disponível em: <https://workofthefuture.mit.edu/research-post/the-work-of-the-future-building-better-jobs-in-an-age-of-intelligent-machines/>. Acesso em: 23 de agosto de 2021.

AUTOR, D.; LEVY, F.; MURNANE, R. J. The Skill Content of Recent Technological Change: an Empirical Exploration. **The Quarterly Journal of Economics**. Vol.118, n° 4, pp. 1279–1333, 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/5034005_The_Skill_Content_Of_Recent_Technological_Change_An_Empirical_Exploration. Acesso em: 13 de setembro de 2021.

AUTOR, D. H.; DORN, D.; HANSON, G. H. The China Shock: Learning from Labor-Market Adjustment to Large Changes in Trade. **Annual Review of Economics**. Vol. 8 n° 1, pp. 205–240. 2016. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-economics-080315-015041>. Acesso em: 16 de setembro de 2021.

AUTOR, D.; AGEMOGLU, D. Skills, Tasks and Technologies: Implications for Employment and Earnings. **National Bureau of Economic Research (NBER)**, n° 16082, 2010. Disponível em: https://www.nber.org/system/files/working_papers/w16082/w16082.pdf. Acesso em: 23 de setembro de 2021.

BARANY, Z. L.; SIEGEL, C. Job polarization, structural transformation and biased technological change. *Travail et Emploi. Journals Open Edition* N° 157, pp. 25–44, 2019. Disponível em: <https://journals.openedition.org/travailemloi/8996>. Acesso em: 15 de setembro de 2021.

BARTH, E.; BRYSON, A.; DAVIS, J. C.; FREEMAN, R. It's Where you Work: Increases in the Dispersion of Earnings Across Establishments and Individuals in the United States. **Journal of Labor Economics**. Estados Unidos, v34, n° S2, pp. S67–S97, 2016. Disponível em: <https://docs.iza.org/dp8437.pdf>. Acesso em: 3 de agosto de 2021.

BARZILAY, A. R.; BEN-DAVID, A. Platform Inequality: Gender in the Gig-Economy. **Seton Hall Law Review**. Vol. 47, pp. 393-431, 2016. Disponível em: <https://scholarship.shu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1588&context=shlr>. Acesso em: 6 de junho de 2021.

BECHICHI, N.; GRUNDKE, R.; JAMET, S.; SQUICCIARINI, M. **Moving Between Jobs: An Analysis of Occupation Distances and Skill Needs**. OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 52, OECD Publishing, Paris, 2018. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1787/d35017ee-en>. Acesso em: 16 de janeiro de 2022.

BECHICHI, N.; JAMET, S.; KENEDI, G.; GRUNDKE, R.; SQUICCIARINI, M. **Occupational Mobility, Skills and Training Needs**. OECD Science, Technology and Industry Working Papers, N. 71, OECD Publishing, Paris, 2019. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/>. Acesso em: 20 de janeiro de 2022.

BESSEN, J. E. How Computer Automation Affects Occupations: Technology, Jobs, and Skills. **SSRN Electronic Journal**. Boston University School of Law & Economics Working Paper No. 15-49, 2015. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2690435. Acesso em: 16 de setembro de 2021.

BJORLIN, C. As IoT Industry Soars, so does Demand for IoT Skills. **IoT World Today**. London, 2017. Disponível em: <https://www.iotworldtoday.com/2017/07/21/iot-industry-soars-so-does-demand-iot-skills/>. Acesso em: 30 de agosto de 2021.

BRAVERMAN, H. **Labor and Monopoly Capital: the Degradation of Work in the Twentieth Century**. 1º Edição. New York: Monthly Review Press, 1998.

BROOKS, R. The Seven Deadly Sins of AI Predictions. **MIT Technology Review**, 2017. Disponível em: <https://www.technologyreview.com/2017/10/06/241837/the-seven-deadly-sins-of-ai-predictions/>. Acesso em: 10 de setembro de 2021.

BRYNJOLFSSON, E.; MCAFEE, A. **The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies**. 1º Edição: W. W. Norton & Company. New York, 2016.

BRUSSEVICH, M. et al. Gender, Technology, and the Future of Work. **IMF Staff Discussion Notes**. SND18/07, pp. 1 - 36, 2018. Disponível em: <https://www.imf.org/en/Publications/Staff-Discussion-Notes/Issues/2018/10/09/Gender-Technology-and-the-Future-of-Work-46236>. Acesso em: 12 de setembro de 2021.

BRYNJOLFSSON, E.; RENSHAW, A.; VAN ALSTYNE, M. The Matrix of Change: A Tool for Business Process Reengineering. **Sloan Management Review**, pp. 37-54, 1997. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/23738801_The_Matrix_of_Change_A_Tool_for_Business_Process_Reengineering. Acesso em: 3 de dezembro de 2021.

BUNGER, K. How to get a job in 3D printing. **3D Printing Industry**, USA, 2018. Disponível em: <https://3dprintingindustry.com/news/how-to-get-a-job-in-3d-printing-145655/>. Acesso em: 5 de setembro de 2021.

BUNTZ, B. 10 of the Hottest IoT Skills. **IoT World Today**, London, 2017. Disponível em: <https://www.iotworldtoday.com/2017/01/31/10-hottest-iot-skills/>. Acesso em 29 de agosto de 2021.

BUREAU OF LABOR STATISTICS. **Biomedical engineers: occupational outlook handbook**. U.S. Bureau of Labor Statistics. Estados Unidos, 2019a. Disponível em: <https://www.bls.gov/ooh/architecture-and-engineering/biomedical-engineers.htm>. Acesso em 20 de setembro de 2021.

_____. **Medical scientists: occupational outlook handbook**. U.S. Bureau of Labor Statistics. Estados Unidos, 2019b. Disponível em: <https://www.bls.gov/ooh/life-physical-and-social-science/medical-scientists.htm>. Acesso em: 5 de setembro de 2021.

BUSINESS WIRE. IDC forecasts worldwide technology spending on the Internet of Things to reach \$1.2 trillion in 2022. **Business Wire**, 2018. Disponível em: <https://www.businesswire.com/news/home/20180618005142/en/IDC-Forecasts-Worldwide-Technology-Spending-Internet-Things>. Acesso em: 9 de setembro de 2021.

CALVANO, E.; CALZOLARI, G.; DENICOLO, V.; PASTORELLO, S. Algorithmic Pricing What Implications for Competition Policy? **Review of Industrial Organization**. Vol. 55, nº 1, pp.155–171, 2019. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3209781. Acesso em: 15 de outubro de 2021.

CALVINO, F.; CRISCUOLO, C.; MARCOLIN, L.; SQUICCIARINI, M. A Taxonomy of Digital Intensive Sectors. **OECD Science, Technology and Industry Working Papers**, No. 2018/14, OECD Publishing, Paris, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/f404736a-en>. Acesso em: 28 de novembro de 2021.

CAMPBELL, K. et al. The 5G economy: How 5G Technology will Contribute to the Global Economy. **IHS Economics & HIS Technology**, n35, 2017. [s.n]. Disponível em: <https://cdn.ihs.com/www/pdf/IHS-Technology-5G-Economic-Impact-Study.pdf>. Acesso em: 7 de setembro de 2021.

CAREEREXPLORER. The job market for robotics engineers in the United States. **CareerExplorer**. USA, 2020a. Disponível em: <https://www.careerexplorer.com/careers/robotics-engineer/job-market/>. Acesso em: 29 de agosto de 2021.

_____. The job market for nanotechnology engineers in the United States. **CareerExplorer**. USA, 2020b. Disponível em: <https://www.careerexplorer.com/careers/nanotechnology-engineer/job-market/>. Acesso em: 2 de setembro de 2021.

CAVOUNIDIS, C.; LANG, K. Ben-Porath meets Lazear: Lifetime skill investment and occupation choice with multiple skills, **NBER Working Paper**, No. 23367, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3386/w23367>. Acesso em: 20 de novembro de 2021.

CHAMBERLAIN, A. The future of solar energy jobs: bright or mostly overcast? **Glassdoor Economic Research**. Estados Unidos, 2018. Disponível em: <https://www.glassdoor.com/research/solar-energy-jobs/>. Acesso em: 25 de agosto de 2021.

CHAUDHARY, A.; HARIHARAN, S.; PRASAD, E. Photovoltaic (PV) market size, share, growth and forecasts, 2019-2026. **Allied Market Research**. Estados Unidos, 2019. Disponível em: <https://www.alliedmarketresearch.com/photovoltaic-market>. Acesso em: 28 de agosto de 2021.

CHEREMUKHIN, A. et al. Middle-skill jobs lost in US labor market polarization. **Economic Letter**, Dallas Fed, v. 9, n. 5, p. 1-4, 2014. Disponível em: <https://www.dallasfed.org/~media/documents/research/eclett/2014/el1405.pdf>. Acesso em: 1 de outubro de 2021.

CHOI, J.; DUTZ, M.; USMAN, Z. **The Future of Work in Africa: Harnessing the Potential of Digital Technologies for All**. Washington, DC: World Bank, 2020. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/32124/9781464814440.pdf?sequence=11&isAllowed=y>. Acesso em: 4 de novembro de 2021.

CONE, E.; LAMBERT, J. How robots change the world - what automation really means for jobs, productivity and regions. **Oxford Economics**, 2019. Disponível em: <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/2240363/>. Acesso em: 15 de setembro de 2021.

CUIPA, E.; RAMANI, S. N.; SMART, C.; SHETTY, N. Financing the Internet of Things: an early glimpse of the potential. **Mossavar-Rahmani Center for Business & Government Weil Hall | Harvard Kennedy School**, 2018. Disponível em: https://www.hks.harvard.edu/sites/default/files/centers/mrcbg/working_papers/AWP_85_final.pdf. Acesso em: 23 de setembro de 2021.

DAS, M.; HILGENSTOCK, B. The exposure to routinization: labor market implications for developed and developing economies. **International Monetary Fund**. IMF Working Paper No. 18/135, 2018. Disponível em: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2018/06/13/>. Acesso em: 21 de setembro de 2021.

DAUTH, W.; FINDEISEN, S.; SUEDEKUM, J.. Trade and manufacturing jobs in Germany. **American Economic Review**. Vol. 107, n° 5, pp. 337-342, 2017. Disponível em: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.p20171025>. Acesso em: 25 de setembro de 2021.

DE STEFANO, V. The rise of the just-in-time workforce: on-demand work, growdwork, and labor protection in the gig-economy. **Comparative Labor Law & Policy Journal**. N° 37, pp. 1 – 43, 2015. Disponível em: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---travail/documents/publication/wcms_443267.pdf. Acesso em: 8 de setembro de 2021.

DE BACKER, K.; DE STEFANO, T.; MENON, C.; SUH, J. R. Industrial robotics and the global organisation of production. **OECD Science, Technology and Industry Working Papers**, No. 2018/03, OECD Publishing, Paris, 2018. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1787/dd98ff58-en>. Acesso em: 5 de janeiro de 2022.

DE GRIP, A.; VAN LOO, J. The economics of skills obsolescence: a review. **Emerald Group Publishing Limited**, vol. 21, pp. 1-26, 2002. Disponível em: [https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1016/S0147-9121\(02\)21003-1/full/html](https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1016/S0147-9121(02)21003-1/full/html). Acesso em: 3 de outubro de 2021.

DOSI, G.; PIVA, M.; VIRGILLITO, M. E.; VIVARELLI, M. Embodied and disembodied technological change: the sectoral patterns of job-creation and job-destruction. **IZA Institute of Labor Economics**, N° 12408, 2019. Disponível em: <https://ftp.iza.org/dp12408.pdf>. Acesso em: 12 de setembro de 2021.

DUSTMANN, C.; LUDSTECK, J.; SCHONBERG, U. Revisiting the German wage structure. **The Quarterly Journal of Economics**, Alemanha. Vol. 124, n° 2, pp. 843–881, 2007. Disponível em: <https://ftp.iza.org/dp2685.pdf>. Acesso em: 14 de setembro de 2021.

ENGSTROM, G.; HILLETOTH, P.; ERIKSSON, D.; SOLLANDER, K. Drivers and barriers of reshoring in the Swedish manufacturing industry. **World Review of Intermodal Transportation Research**. Vol. 7, n° 3, pp.195–220, 2018. Disponível em: <https://www.inderscienceonline.com/doi/pdf/10.1504/WRITR.2018.093550>. Acesso em: 14 de outubro de 2021.

ELLIOTT, S. **Computers and the Future of Skill Demand, Educational Research and Innovation**. OECD Publishing, Paris, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264284395-en>. Acesso em: 16 de novembro de 2021.

ERNST, E.; MEROLA, R.; SAMAAN, D. Economics of artificial intelligence: implications for the future of work. **IZA Journal of Labor Policy**. Vol. 9, n°1, pp. 1-35, 2019. Disponível em: <https://www.sciendo.com/article/10.2478/izajolp-2019-0004>. Acesso em: 11 de setembro de 2021.

FIALHO, P.; QUINTINI, G.; VANDEWEYER, M. Returns to different forms of job-related training: Factoring in informal learning. **OECD Social, Employment and Migration Working Papers**, N° 231, OECD Publishing, Paris, 2019. Disponível em: <https://efaidnbmnibpcjpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.oecd-ilibrary.org%2Fdocserver%2Fb21807e9-en.pdf%3Fexpires%3D1644512883%26id%3Did%26accname%3Dguest%26checksum%3D4DCC3F52158FFE4C1390FDC0DB4A872B&clen=3223698>. Acesso em: 16 de janeiro de 2022.

FORTUNE BUSINESS INSIGHTS. Solar Power Market Size, Share & Growth - 2026. **Fortune Business Insights**, India, 2019. Disponível em:

<https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/solar-power-market-100764>. Acesso em: 29 de agosto de 2021.

FRANK, M. R. et al. Toward understanding the impact of artificial intelligence on labor. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. Vol. 116, n° 14, pp. 6531–6539, 2019. Disponível em: <https://www.pnas.org/content/pnas/116/14/6531.full.pdf>. Acesso em: 2 de setembro de 2021.

FREEMAN. Technology, inequality and economic growth. **Innovation and Development**. Vol. 1, n° 1, pp. 11–24, 2011. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/2157930X.2010.551062?scroll=top&needAccess=true>. Acesso em : 15 de novembro de 2021.

FREIRE, H. Afinal o que é capital humano? Entenda sua importância. **ETALENT**. 2020. Disponível em: <https://etalent.com.br>. Acesso em: 15 de maio de 2022.

FREY, C. B.; OSBORNE, M. A. The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation? **Technological Forecasting and Social Change**. Vol.114, pp. 254 – 280, 2017. Disponível em: <https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/future-of-employment.pdf>. Acesso em: 9 de setembro de 2021.

FROESE, M. Global IoT market to reach \$318 billion by 2023, says GlobalData. **Windpower, Engineering&Development**, Estados Unidos, 2018. Disponível em: <https://www.windpowerengineering.com/global-iot-market-to-reach-318-billion-by-2023-says-globaldata/>. Acesso em: 4 de setembro de 2021.

GEVA, A.; PAK, M.; SCHWELLNUS, C; VEIEL, R. Gig economy platforms: Boon or bane? **OECD Economics Department Working Papers**, OECD Publishing, Paris, 2019. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/fdb0570b-en.pdf?expires=1644859212&id=id&accname=guest&checksum=16DF4B76D546C6358AD690BD0E361AA8>. Acesso em: 28 de janeiro de 2022.

GJERDING, A. N.; HOLM, J. R.; LORENZ, E; STAMHUS, J. Ready but challenged: Diffusion and use of artificial intelligence and robotics in Danish firms: Findings from the TASK survey. **Alborg University Business School** working paper series 001, 2020. Disponível em: https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/410166789/6346_Article_Text_19831_1_10_20201209.pdf. Acesso em: 17 de setembro de 2021.

GLOBAL 500. Fortune. **Fortune.com**, 2020. Disponível em: <https://fortune.com/global500/2019/>. Acesso em: 25 de agosto de 2021.

GLOBENEWSWIRE. Global genome editing market will reach USD 9.66 billion by 2025: Zion market research. **Intrado GlobeNewswriew**, Estados Unidos, 2019. Disponível em: <http://www.globenewswire.com/news-release/>. Acesso em: 27 de agosto de 2021.

GRAETZ, G.; MICHAELS, G. Robots at work. **The Review of Economics and Statistics**, CEP Discussion Paper 1335, 2018. Disponível em: http://personal.lse.ac.uk/michaels/Graetz_Michaels_Robots.pdf. Acesso em: 15 de setembro de 2021.

GRAD SCHOOL HUB. What types of jobs are in robotics? **GradSchoolHub**. Estados Unidos, 2020. Disponível em: <https://www.gradschoolhub.com/faqs/what-types-of-jobs-are-in-robotics/>. Acesso em: 29 de agosto de 2021.

GRAY M. L.; SURI, S. **3D Printed Fashion Accessories Created in Colombia**. [s.n], 2019.

GRAY, M. L.; SURI, S. **Ghost Work: How to Stop Silicon Valley from Building a New Global Underclass**. 1ª Edição. Boston: Mariner Books, 2019b.

GHAHRAMANI, Z. Probabilistic machine learning and artificial intelligence. **Nature**. N° 521, pp. 452–459, 2015. Disponível em: <https://www.repository.cam.ac.uk/bitstream/handle/1810/248538/Ghahramani%202015%20Nature.pdf>. Acesso em: 16 de setembro de 2021.

GRUNDKE, R. Which skills for the digital era? Returns to skills analysis. **OECD Science, Technology and Industry Working Papers**, No. 2018/09, OECD Publishing, Paris, 2018. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1787/9a9479b5-en>. Acesso em: 11 de janeiro de 2022.

GUILFORD-BLAKE, R. Wait. Will AI replace radiologists after all? **Radiology Business**, 2020. Disponível em: <https://www.radiologybusiness.com/topics/artificial-intelligence/wait-will-ai-replace-radiologists-after-all>. Acesso em: 10 de setembro de 2021.

HAO, K. The AI gig economy is coming for you. **MIT Technology Review**. 2019 Disponível em: <https://www.technologyreview.com/2019/05/31/103015/the-ai-gig-economy-is-coming-for-you/>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2021.

HARFORD, T. Robots will not be coming for our jobs just yet. **Financial Times**, 2020. Disponível em: <https://www.ft.com/content/ad0f30ac-2b1d-11ea-a126-99756bd8f45e>. Acesso em: 30 de setembro de 2021.

HARTMANN, D.; GUEVARA, M. R.; JARA-FIGUEROA, C.; ARISTARAN, M.; HIDALGO, C. A. Linking economic complexity, institutions, and income inequality. **World Development**, Elsevier Ltda. V.93, pp75–93, 2017. Disponível em: https://www.eco.unicamp.br/images/arquivos/Hartmann_WD_May2017.pdf. Acesso em: 5 de outubro de 2021.

HIRED. State of salaries report. **Hired**, New York, Estados Unidos, 2020. Disponível em: <https://hired.com/state-of-salaries-2018>. Acesso em: 6 de setembro 2021.

ILO. Digital labour platforms and the future of work: towards decent work in the online world. **International Labour Organization**, Geneva, 2018c. Disponível em: <https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/>. Acesso em: 6 de junho de 2021.

JANTTI, M.; JENKINS, S. P. Chapter 10 - Income mobility. In: Atkinson A B, and Bourguignon F, eds. **Handbook of Income Distribution**, pp. 807–935, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780444594280000114?via%3Dihub>. Acesso em: 23 de setembro de 2021.

JOÃO, P. S. O dilema dos falsos autônomos e dos falsos empregados. **CONJUR – Consultor Jurídico**. 2019. Disponível em: <https://www.conjur.com.br>. Acesso em: 15 de maio de 2022.

JUHN, C.; MURPHY, K. M.; PIERCE, B. Wage inequality and the rise in returns to skill. **Journal of Political Economy**. Published By: The University of Chicago Press. v101, n°3, pp. 410–442, 1993. Disponível em: <https://uh.edu/~cjuhn/Papers/docs/2138770.pdf>. Acesso em: 15 de outubro de 2021.

KAPELIUSHNIKOV, R. The phantom of technological unemployment. **Russian Journal of Economics**. Rússia, Vol. 5. n° 1, pp. 88–116, 2019. Disponível em: <https://rujec.org/article/35507/>. Acesso em: 5 de setembro de 2021.

KATZ, L. F.; MARGO, R. A. Technical change and relative demand for skilled labor: The United States in historical perspective. **National Bureau of Economic Research**, Working Paper 18752, 2014. Disponível em: https://www.nber.org/system/files/working_papers/w18752/w18752.pdf. Acesso em: 22 de setembro de 2021.

KELLER, W.; UTAR, H. International trade and job polarization: evidence at the worker-level. **National Bureau of Economic Research**. Working Paper No. 22315, 2016. Disponível em: https://www.nber.org/system/files/working_papers/w22315/w22315.pdf. Acesso em: 15 de setembro de 2021.

KING, B. A.; HAMMOND, T.; HARRINGTON, J. Disruptive technology: economic consequences of artificial intelligence and the robotics revolution. **Journal of Strategic Innovation and Sustainability**, Vol.12, n° 2, pp. 53–67, 2017. Disponível em: <https://www.articlegateway.com/index.php/JSIS/article/view/801/751>. Acesso em: 18 de setembro de 2021.

KON, A. **A Economia do Trabalho, Qualificação e Segmentação no Brasil**. 1º Edição. Rio de Janeiro: Alta Books Editora, 2016.

_____, A. **Evolução Tecnológica Digital: impactos econômicos**. 1º Edição. Curitiba: Editora CRV. 2020.

LEE, K. F. **AI Superpowers: China, Silicon Valley, and the New World Order**. Houghton Mifflin Harcourt. 1º edição. Boston: Mariner Books, 2018.

LIN, J. Y. From flying geese to leading dragons: new opportunities and strategies for structural transformation in developing countries. **Peking University - China Center for Economic Research - Global Policy**, Vol. 3, n° 4, pp.397–409, 2012. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1871599. Acesso em: 5 de agosto de 2021.

LINKEDIN. LinkedIn workforce report. **LinkedIn: Economic Graph Team**. Estados Unidos, 2018. Disponível em: <https://economicgraph.linkedin.com/resources/linkedin-workforce-report-august-2018>. Acesso em: 26 de agosto de 2021.

LUETH, K. L. State of the IoT 2018: number of IoT devices now at 7B. **IoT Analytics**. Estados Unidos, 2018. Disponível em: <https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/>. Acesso em: 11 de setembro de 2021.

MADDISON, A. **The World Economy: A Millennial Perspective**. Organization for Economic Cooperation and Development. Paris, France, 2001. Disponível em:

<https://theunbrokenwindow.com/Development/MADDISON%20The%20World%20Economy--A%20Millennial.pdf>. Acesso em: 3 de outubro de 2021.

MADGAVKAR, A; et al. The future of women at work: transitions in the age of automation. **McKinsey Global Institute**, 2019. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Featured%20Insights/Gender%20Equality/The%20future%20of%20women%20at%20work%20Transitions%20in%20the%20age%20of%20automation/MGI-The-future-of-women-at-work-Exec-summary-July-2019.pdf>. Acesso em: 15 de setembro de 2021.

MANYIKA, Von J.; CHUI, M.; MIREMADI, M.; BUGHIN, J.; GEORGE, K.; WILLMOTT P.; DEWHURST, M. A future that works: Automation, employment, and productivity. **McKinsey Global Institute**, 2017. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/featured%20insights/digital%20disruption/harnessing%20automation%20for%20a%20future%20that%20works/a-future-that-works-executive-summary-spanish-mgi-march-24-2017.pdf>. Acesso em 15 de setembro de 2021.

MARCOLIN, L.; SQUICCIARINI, M. To be (routine) or not to be (routine), that is the question: A cross-country task-based answer. **Industrial and Corporate Change**, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1093/icc/dty020>. Acesso em: 18 de janeiro de 2022.

MARKETSANDMARKETS. Artificial intelligence market - 2025. **MarketsandMarkets**. Estados Unidos, 2018. Disponível em: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/artificial-intelligence-market-74851580.html>. Acesso em: 6 de setembro de 2021.

_____. 3D printing market size, share and market forecast to 2024. **MarketsandMarkets**. Estados Unidos, 2019. Disponível em: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/3d-printing-market-1276.html>. Acesso em: 25 de agosto de 2021.

MARKETWATCH. Big data market 2019 global analysis, opportunities and forecast to 2026. **Marketwatch**. Estados Unidos, 2019a. Disponível em: <https://www.marketwatch.com/press-release/big-data-market-2019-global-analysis-opportunitiesand-forecast-to-2026-2019-01-17>. Acesso em: 25 de agosto de 2021.

_____. Artificial intelligence market size is expected to surpass US\$ 191 billion by 2024. **Marketwatch**. Estados Unidos, 2019b. Disponível em: <https://www.marketwatch.com/press-release/artificial-intelligence-market-size-isexpected-to-surpass-us-191-billion-by-2024-2019-04-16>. Acesso em: 25 de agosto de 2021.

_____. Global industrial robotics market: industry status, sales overview, supply-demand 2019-2028. **Marketwatch**. Estados Unidos, 2019c. Disponível em: <https://www.marketwatch.com/press-release/global-industrial-roboticsmarket-industry-status-sales-overview-supply-demand-2019-2028-2019-02-22>. Acesso em: 7 de setembro de 2021.

MATTOS, F. B., et al. Automation, employment and reshoring in the apparel industry: long-term disruption or a storm in a teacup? **ILO and IFC**, Discussion paper 36, 2020. Disponível em: https://betterwork.org/wp-content/uploads/2020/05/BW-Discussion-Paper-36-Automation_FINAL.pdf. Acesso em: 9 de setembro de 2021.

MARX, K. **O Capital: crítica da economia política, livro 1**. 1ª Edição. São Paulo: Editora Nova Cultural Ltda, 1996.

MILANEZ, A. The taxation of non-standard work. **OECD Taxation Working Papers**, OECD Publishing, Paris, 2018. Disponível em: <https://www.oecd.org/sti/ind/digital-transformation-business-session-5-milanez.pdf>. Acesso em: 27 de janeiro de 2022.

MILGROM, P. et al. The economics of modern manufacturing: Technology, strategy, and organization. **American Economic Review**, Vol. 80/3, pp. 511-28, 1990. Disponível em: https://econpapers.repec.org/article/aeaarec/v_3a80_3ay_3a1990_3ai_3a3_3ap_3a511-28.htm. Acesso em 01 de dezembro de 2021.

MIT. INDUSTRY 4.0. What is it and What Does it Mean for Firms? **Massachusetts Institute of Technology Cambridge**, 2017. Disponível em: <http://ipcdev.mit.edu/research/advanced-manufacturing/industry-40-what-it-and-what-does-it-mean-firms> Acesso em: 5 de janeiro de 2021.

MORDOR INTELLIGENCE. Robotics market size, growth, analysis - Growth, trends, and forecast (2020-2025). **Mordor Intelligence**. Índia, 2020. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/robotics-market>. Acesso em: 25 de agosto de 2021.

MUELLER, H. M.; OUIMET, P. P.; SIMINTZI, E. Wage inequality and firm growth. **American Economic Association**. Estados Unidos. Vol.107, nº5, pp 379–383, 2017. Disponível em: https://www.nber.org/system/files/working_papers/w20876/w20876.pdf. Acesso em: 6 de outubro de 2021.

NEDELKOSKA, L.; QUINTINI, G. Automation, skills use and training. **OECD Social, Employment and Migration Working Papers**, No. 202, OECD Publishing, Paris, 2018. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1787/2e2f4eea-en>. Acesso em: 17 de setembro de 2021.

OECD/EUROSTAT. **Oslo Manual 2018**. 4ª Edition. Paris: OECD Publishing, 2018.
OECD. **OECD Employment Outlook 2017**. OECD Publishing, Paris, 2017a. Disponível em: https://dx.doi.org/10.1787/empl_outlook-2017-en. Acesso em: 12 de outubro de 2021.

_____. **OECD Employment Outlook 2018**. OECD Publishing, Paris, 2018e. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1787/empl_outlook-2018-en. Acesso em: 10 de outubro de 2021.

_____. **Good Jobs for All in a Changing World Of Work: The OECD Jobs Strategy**. OECD Publishing, Paris, 2018g. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/9789264308817-en>. Acesso em: 12 de outubro de 2021.

_____. **OECD Skills Outlook 2019 : Thriving in a Digital World**. OECD Publishing, Paris, 2019c. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/df80bc12-en>. Acesso em: 21 de outubro de 2021.

_____. **The Future of Education and Skills**. OECD Publishing, Paris, 2018o. Disponível em: [https://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20\(05.04.2018\).pdf](https://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20(05.04.2018).pdf). Acesso em: 23 de novembro de 2021.

_____. **Going Digital: Shaping Policies, Improving Lives.** OECD Publishing, Paris, 2019e. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/9789264312012-en>. Acesso em: 30 de novembro de 2021.

_____. **ICTs and jobs: Complements or substitutes?** OECD Digital Economy Papers, No. 259, OECD Publishing, Paris, 2016e. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1787/5jlwnklzplhg-en>. Acesso em: 5 de janeiro de 2022.

_____. **Measuring the Digital Transformation: A Roadmap for the Future.** OECD Publishing, Paris, 2019g. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1787/9789264311992-en>. Acesso em: 6 de janeiro de 2022.

_____. **Decoupling of wages from productivity: What implications for public policies?** in OECD Economic Outlook, Volume 2018, Issue 2, OECD Publishing, Paris, 2018p. Disponível em: https://doi.org/10.1787/eco_outlook-v2018-2-3-e. Acesso em: 7 de janeiro de 2022.

_____. **The Future of Education and Skills: Education 2030.** OECD Publishing, Paris, 2018q. Disponível em: [https://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20\(05.04.2018\).pdf](https://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20(05.04.2018).pdf). Acesso em: 12 de janeiro de 2022.

_____. **Massive Open Online Courses (MOOCs): Trends and Future Perspectives.** OECD, Paris, 2016f. Disponível em: [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=EDU/CERI/CD/RD\(2016\)5&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=EDU/CERI/CD/RD(2016)5&docLanguage=En). Acesso em: 16 de janeiro de 2022.

_____. **OECD Skills Strategy 2019: Skills to Shape a Better Future.** OECD Publishing, Paris, 2019b. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/9789264313835-en>. Acesso em: 20 de outubro de 2021.

_____. **Getting Skills Right: Future-ready Adult Learning Systems.** Getting Skills Right, OECD Publishing, Paris, 2019h. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/9789264311756-en>. Acesso em: 13 de janeiro de 2022.

_____. **The Future of Social Protection: What Works for Non-standard Workers?** OECD Publishing, Paris, 2018r. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1787/9789264306943-en>. Acesso em: 22 de janeiro de 2022.

_____. **Basic income as a policy option: Can it add up?** Policy Brief on the Future of Work, OECD, Paris, 2017o. Disponível em: <https://www.oecd.org/social/Basic-Income-Policy-Option-2017.pdf>. Acesso em: 23 de janeiro de 2022.

_____. **New forms of work in the digital economy.** OECD Digital Economy Papers, No. 260, OECD Publishing, Paris, 2016g. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1787/5jlwnklt820x-en>. Acesso em: 25 de janeiro de 2022.

_____. **OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017: The digital Transformation.** OECD Publishing, Paris, 2017l. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264268821-en>. Acesso em: 28 de novembro de 2021.

OIT. Internacional Standard Classification of Occupations: structure, group definitions and correspondence tables. **International Labour Office**, vol. 1. 2012. Disponível em: <http://www.ilo.org/public/english/bureau/stat/isco/docs/publication08.pdf>. Acesso em: 5 de setembro de 2021.

OVERMYER, S. Jobs of the future: emerging trends in artificial intelligence. **Indeed, for Employers**. Austin, Estados Unidos, 2018. Disponível em: <http://blog.indeed.com/2018/08/23/artificial-intelligence-report/>. Acesso em: 07 de setembro de 2021.

PAVLIDOU, N. E.; TSALIKI, P. V.; VARDALACHAKIS, I. N. Technical change, unemployment and labor skills. **Internacional Journal of Social Economics**, v. 38, n° 7, pp. 595-606, 2011. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/03068291111139230/full/html?skipTracking=true>. Acesso em: 3 de outubro de 2021.

PETERSON'S. **Nanotechnology jobs are becoming more diversified**. Peterson's College & Scholarship Search, 2017. Disponível em: <https://www.petersons.com/blog/nanotechnology-jobs-becoming-more-diversified/>. Acesso em: 3 de setembro de 2021.

PINK, D. **Free Agent Nation, The Future of Working for Yourself**. 1º Edição. New York: Grand Central Publishing, 2001.

PONTES, D. M. **Tecnologia e mudança ocupacional**, in: Tese de Mestrado em Economia Política, 2019, São Paulo: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.

POULIAKAS, K. Determinants of automation risk in the EU labour market: a skills-needs approach. **Institute of Labor Economics (IZA)**. IZA Discussion Papers No. 11829, 2018. Disponível em: <https://ftp.iza.org/dp11829.pdf>. Acesso em: 16 de setembro de 2021.

PWC. Will robots really steal our jobs? An international analysis of the potential long-term impact of automation. **Pew Research Center**, pp 1-47, 2018. Disponível em: https://www.pwc.com/hu/hu/kiadvanyok/assets/pdf/impact_of_automation_on_jobs.pdf. Acesso em: 5 de novembro de 2021.

_____. What's the real value of AI for your business and how can you capitalise? **Pew Research Center**. pp. 1-28, 2017. Disponível em: <http://preview.thenewsmarket.com/Previews/PWC/DocumentAssets/476830.pdf>. Acesso em: 6 de julho de 2021.

RAYOME, A. D. The 10 most in-demand AI jobs in the world. **TechRepublic**. [s.n], 2019. Disponível em: <https://www.techrepublic.com/article/the-10-most-in-demand-ai-jobs-in-the-world/>. Acesso em: 08 de setembro de 2021.

RAMALINGAM, B.; HERNANDEZ, K.; MARTIN, P. P.; FAITH. B. Ten frontier technologies for international development. **Institute of Development Studies**. England, 2016. Disponível em: [https://opendocs.ids.ac.uk/opendocs/bitstream/handle/20.500.12413/12637/Main_Report_2016_Ten_Frontier Tecnologies_for_International_Development.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://opendocs.ids.ac.uk/opendocs/bitstream/handle/20.500.12413/12637/Main_Report_2016_Ten_Frontier_Tecnologies_for_International_Development.pdf?sequence=2&isAllowed=y). Acesso em: 5 de novembro de 2021.

RADOVIC, M. The drone job market update. **Drone Industry Insights**. Estados Unidos, 2019. Disponível em: <https://www.droneii.com/drone-jobs>. Acesso em: 4 de setembro de 2021.

RAZA, S. 5G technology market size to surpass US\$248,462.4 Mn by 2028 end. **Value Walk**. Estados Unidos, 2019. Disponível em: <https://www.valuewalk.com/2019/04/global-5g-technology-market-size-surpass/>. Acesso em: 29 de agosto de 2021.

RODRIGUEZ, S. Salaries for blockchain engineers are skyrocketing, now on par with AI experts. **CNBC**. Estados Unidos, 2018. Disponível em: <https://www.cnbc.com/2018/10/21/how-much-do-blockchain-engineers-make.html>. Acesso em: 5 de setembro de 2021.

SACOMANO, J.B.; GONÇALVES, R.F.; BONILLA, S.H. **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. 1º Edição. São Paulo: Editora Blucher, 2018.

SAWANT, R.; KAKADE, P. 3D printing market size, share. **Allied Market Research**. Estados Unidos, 2018. Disponível em: <https://www.alliedmarketresearch.com/3d-printing-market>. Acesso em: 10 de setembro de 2021.

SCHUMPETER, J. A. **A Teoria do Desenvolvimento Econômico**. 1º Edição. São Paulo: Editora Nova Cultural Ltda, 1997.

SCHUMPETER, J. A. **Capitalismo, Socialismo e Democracia**. 1º Edição. Rio de Janeiro: Editora Fundo de Cultura S.A., 1961.

SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**. 1º Edição. São Paulo: Edipro, 2016.

SCHWALBE, U. Algorithms, machine learning, and collusion. **Journal of Competition Law & Economics**. Vol. 14, nº 4, pp. 568–607, 2018. Disponível em: <https://academic.oup.com/jcle/article-abstract/14/4/568/5514023?login=false>. Acesso em: 4 de outubro de 2021.

SCOTT, K. Automation may take jobs—but AI will create them. **WIRED**, 2020. Disponível em: <https://www.wired.com/story/automation-may-take-jobs-but-ai-will-create-them/>. Acesso em: 15 de setembro de 2021.

STEVAN Jr., S. L.; LEMA, M. O.; SANTOS, M. M. D. **Indústria 4.0: Fundamentos, perspectivas e aplicações**. 1º Edição. São Paulo: Érica, 2019.

SORBE, S.; GAL, P.; MILLOT, V. Can productivity still grow in service-based economies? Preliminary evidence and scoping for further research. **OECD Economics Department Working Papers**, No. 1531, OECD Publishing, Paris, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/4458ec7b-en>. Acesso em: 6 de janeiro de 2022.

SONG, J.; PRICE, D. J.; GUVENEN, F.; BLOOM, N.; VON WACHTER, T. Firming up inequality. **The Quarterly Journal of Economics**. Vol.134, nº1, pp. 1–50, 2019. Disponível em: <https://academic.oup.com/qje/article/134/1/1/5144785?login=false>. Acesso em: 10 de outubro de 2021.

SUSSKIND, D. **A World without Work: Technology, Automation, and How We Should Respond**. 1º Edição. New York: Metropolitan Books, 2020.

TEWARI, D.; BAUL, S. **Nanotechnology market size, share and trend**. Allied Market Research. Estados Unidos, 2019. Disponível em: <https://www.alliedmarketresearch.com/nanotechnology-market>. Acesso em: 30 de setembro de 2021.

WAGNER, I. Robotics market revenue worldwide 2018-2025. **Statista**. Alemanha, 2019. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/760190/worldwide-robotics-market-revenue/>. Acesso em: 29 de agosto de 2021.

WELCH, F. In defense of inequality. **American Economic Association Review**. Estados Unidos. Vol. 89, n°2. Pp. 1–17, 1999. Disponível em: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.89.2.1>. Acesso em: 21 de outubro de 2021.

WORLD BANK. World Development Report 2019: The Changing Nature of Work. Washington. DC: **World Bank**, 2019. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/816281518818814423/pdf/2019-WDR-Report.pdf>. Acesso em: 10 de setembro de 2021.

WRIGHT, R. Workplace automation: how AI is coming for your job. **Financial Times**, London, 2019. Disponível em: <https://www.ft.com/content/c4bf787a-d4a0-11e9-a0bd-ab8ec6435630>. Acesso em 12 de setembro de 2021.

UNCTAD. **Technology and Innovation Report 2021: Catching technological waves innovation with equity**. New York: United Nations Publications, 2021. Disponível em: https://unctad.org/system/files/official-document/tir2020_en.pdf. Acesso em 23 de agosto de 2021.

_____. **Harnessing Frontier Technologies for Sustainable Development**. Technology and Innovation Report, 2018. New York: United Nations Publications, 2018a.

_____. **Digitalization, Trade and Development**. Information economy report 2017. New York: United Nations Publications, 2017. Disponível em: https://unctad.org/system/files/official-document/ier2017_en.pdf. Acesso em: 5 de janeiro de 2021.

_____. **Creative Economy Outlook: Trends in International Trade in Creative Industries**. New York: United Nations Publications, 2018c. Disponível em: https://unctad.org/system/files/official-document/webditcted2016d5_en.pdf. Acesso em: 6 de junho de 2021.

UNITED NATIONS. Resolution Adopted by the General Assembly on 26 November 2018. 73/17. **Impact of Rapid Technological Change on the Achievement of the Sustainable Development Goals and Targets**. A/RES/73/17, 2018. Disponível em: <https://undocs.org/pdf?symbol=en/A/RES/73/17>. Acesso em 03 de setembro de 2021.

_____. **The Sustainable Development Goals Report 2019**. United Nations. New York, NY., 2019. Disponível em: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019.pdf>. Acesso em: 20 de setembro de 2021.

VAN REENEN, J. Wage inequality, technology and trade: 21st century evidence. Labour Economics. **European Association of Labour Economists**, 3rd World Conference EALE/SOLE, London UK, 17-19 June 2010. v18(6):730–741, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927537111000613>. Acesso em: 23 de agosto de 2021.

VAN UYTSEL, S. Artificial intelligence and collusion: A literature overview. **SSRN**, Kyushu University, 2018. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3656822. Acesso em: 18 de agosto do 2021.

VERMEULEN, B.; PYKA, A.; OMEROVIV, M. The economic impact of robotics and artificial intelligence. **REELER Working Paper Series**, n° 6, 2017. Disponível em: https://reeler.eu/fileadmin/ingen_mappe_valgt/wp6.pdf. Acesso em: 15 de setembro de 2021.