

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS**

MANOELA DO AMARAL FERRONATO

**OS IMPACTOS DA AUTOMAÇÃO RECENTE NO MERCADO DE TRABALHO E
CONSIDERAÇÕES SOBRE A DESIGUALDADE DE RENDA**

Porto Alegre

2022

MANOELA DO AMARAL FERRONATO

**OS IMPACTOS DA AUTOMAÇÃO RECENTE NO MERCADO DE TRABALHO E
CONSIDERAÇÕES SOBRE A DESIGUALDADE DE RENDA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Curso de Graduação em Ciências Econômicas da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Marley Modesto Monteiro

Porto Alegre

2022

CIP - Catalogação na Publicação

Ferronato, Manoela do Amaral
OS IMPACTOS DA AUTOMAÇÃO RECENTE NO MERCADO DE
TRABALHO E CONSIDERAÇÕES SOBRE A DESIGUALDADE DE RENDA
/ Manoela do Amaral Ferronato. -- 2022.
73 f.
Orientador: Sérgio Marley Modesto Monteiro.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade
de Ciências Econômicas, Curso de Ciências Econômicas,
Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Automação. 2. Mercado de trabalho. 3.
Desigualdade. 4. Robótica avançada. 5. Inteligência
Artificial. I. Monteiro, Sérgio Marley Modesto,
orient. II. Título.

MANOELA DO AMARAL FERRONATO

**OS IMPACTOS DA AUTOMAÇÃO RECENTE NO MERCADO DE TRABALHO E
CONSIDERAÇÕES SOBRE A DESIGUALDADE DE RENDA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Curso de Graduação em Ciências Econômicas da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Ciências Econômicas.

Aprovada em: Porto Alegre, _____ de _____ de 2021.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Sérgio Marley Modesto Monteiro – Orientador

UFRGS

Prof. Dr. Maurício Andrade Weiss

UFRGS

Prof. Dr. Thomas Hyeono Kang

UFRGS

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pelo amor incondicional que recebi durante toda minha vida, o qual as palavras são incapazes de fazer jus. Ao meu pai, André, por priorizar a minha felicidade, batalhar todos os dias para me proporcionar as melhores condições para que eu me desenvolva pessoal e profissionalmente e por me lembrar que a vida é maravilhosa. À minha mãe, Janine, por sempre acreditar em mim (mesmo quando eu não acreditava), por me relembrar constantemente do poder e do valor da educação e pela dedicação incansável à minha irmã e à mim. À minha irmã, Carolina, por ser minha maior inspiração, me ensinar tanto todos os dias e ser meu porto seguro.

Às minhas amigas, Bárbara, Marina e Eduarda, com quem compartilhei tanto crescimento e amadurecimento nos últimos anos e por serem amigas tão leais e verdadeiras. Aos amigos que a UFRGS me deu, por todos os cafés repletos de discussões e com quem aprendi coisas para além da sala de aula, Bruna, Martin, Felipe, Gabriel, Clara e Thiago. Aos amigos da W&L que fiz durante o intercâmbio e com quem sei que fiz conexões para a vida toda, Stephanie, Suha, Yoko, Abhi, Navid, Alexander e Caio. À minha prima, Naná, e tia-avó Loery, que nunca hesitaram em me ajudar e me acolher, principalmente durante meus primeiros anos em Porto Alegre. À minha cachorrinha, Gal, por alegrar meus dias. Ao Fernando, meu namorado e parceiro de vida, por todo amor, dedicação e zelo. Obrigada pelo companheirismo e apoio nos últimos 5 anos e por estar ao meu lado nos momentos de dor e alegria. A vida é muito melhor do teu lado.

Por fim, gostaria de agradecer a todas as pessoas que fazem a UFRGS ser a instituição que é, pessoas com quem tive o privilégio de conviver e também aqueles que não tive contato mas que são essenciais para o dia-a-dia da universidade. Agradeço imensamente a todos os meus professores, os quais gostaria de citar nominalmente e estender esta seção, mas direciono tal sentimento agradecendo meu orientador e participantes da banca. Ao meu orientador, Sérgio Monteiro, agradeço pelo suporte durante o desenvolvimento deste trabalho e demonstro aqui minha admiração pelo profissional e pessoa que és. Agradeço também aos participantes da banca, Mauricio Weiss e Thomas Kang, pela disposição em contribuir com meu trabalho e por transformarem a vida de tantas pessoas através da educação.

RESUMO

A recente mudança tecnológica fomentada pelos novos adventos de automação como robótica avançada, Inteligência Artificial e *machine learning*, tem retomado discussões sobre o papel da automação nesse cenário e quais os impactos para o mercado de trabalho. Ainda que historicamente a humanidade tenha convivido com ondas de mudança tecnológica, essas novas tecnologias apresentam características intrínsecas com maior potencial de ameaça para os trabalhadores. Por meio de uma revisão da literatura recente no tema a partir de estudos empíricos, foram analisados quais os impactos observados até agora decorrentes da introdução dessas novas tecnologias no mercado de trabalho. O resultado de tal análise indica que tais impactos podem ser evidenciados através da destruição, deslocamento de empregos e queda da participação do trabalho no produto agregado, além de um impacto indireto através da desigualdade de renda.

Palavras-chave: automação; mercado de trabalho; desigualdade; robótica; inteligência artificial; machine learning.

ABSTRACT

The recent technological change linked to new advents of automation, such as advanced robotics, Artificial Intelligence and machine learning, has resumed discussions about the role of automation in this context and what are the impacts on job market. Although humanity has historically lived with waves of technological change, these new technologies have intrinsic characteristics with greater threat to workers. The implications observed so far resulting from the introduction of these new technologies in the labor market were analyzed through a review of recent literature on the subject based on empirical studies. The result of such analysis indicates that the impacts can be seen through the destruction and displacement of jobs and the fall in the share of labor in output, also an indirect impact through income inequality.

Keywords: automation; labor market; inequality; robotics; artificial intelligence; machine learning.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Estoque Operacional de Robôs Industriais	32
Figura 2 - Probabilidade de automação de empregos nos EUA	34
Figura 3 - Parcela de trabalhadores com alta potencial de automatização por países da OCDE	36
Figura 4 – Potencial de automação por país	37
Figura 5 - Mudança percentual no nível de emprego (2012 a 2019) e exposição à IA (2012) nos Estados Unidos	40
Figura 6 – Relação entre os salários dos trabalhadores graduados e trabalhadores com ensino médio.....	48
Figura 7 – Efeito da quantidade relativa.....	52
Figura 8 – Efeito de complementaridade capital-habilidade	52
Figura 9 – Categorização das tarefas no mercado de trabalho	56
Figura 10 – Mudança percentual na participação do trabalho de acordo com cada decil de qualidade do trabalho (1979-1999).....	59
Figura 11 - Diferenciais de salário por hora para a metade superior 90/50 e inferior 50/10 da pirâmide salarial (1973-2004).....	60

LISTA DE ABREVIATURAS

IA - Inteligência Artificial

ML - Machine Learning

NBER - National Bureau of Economic Research

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

RBTC - Routine Biased Technological Change

SBTC - Skill Biased Technological Change

TIC - Tecnologias de Informação e Comunicação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. O AVANÇO DA AUTOMAÇÃO	15
2.1. A Revolução Industrial.....	15
2.2. O início do século XX e a Grande Depressão.....	20
2.3. A segunda metade do século XX	24
2.4. O fim do século XX e os dias de hoje	26
3. IMPACTOS DIRETOS SOBRE O MERCADO DE TRABALHO	28
3.1. A automação recente	28
3.1.1. Robótica avançada	29
3.1.2. Inteligência Artificial	30
3.1.3. Machine learning	31
3.1.4. O ritmo de adoção das novas tecnologias de automação	31
3.2. Efeitos diretos: destruição e deslocamento de empregos e queda da participação do trabalho no produto agregado.....	33
3.3. Os mecanismos de compensação	40
4. DESIGUALDADE NO MERCADO DE TRABALHO	46
4.1. Mudança tecnológica com viés de habilidade: o modelo canônico	46
4.2. Mudança tecnológica tendenciosa à rotina: um olhar para as tarefas	55
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
REFERÊNCIAS.....	67

1. INTRODUÇÃO

A humanidade convive com a introdução e os consequentes impactos de novas tecnologias desde o início das civilizações. Desde a Revolução Industrial, com o advento de máquinas na manufatura, o futuro do emprego se tornou uma preocupação recorrente. Entretanto, ao longo da história, a automação não só trouxe crescimento econômico para os países, como também foi acompanhada por um processo contínuo de surgimento de novas tarefas criando novas oportunidades de emprego (ACEMOGLU; RESTREPO, 2018a).

O progresso tecnológico, visto sob os olhos da teoria econômica, traz à lembrança um aumento de produtividade que leva a um processo contínuo de crescimento econômico. Com o trabalho de Schumpeter (1942) e a introdução do conceito de destruição criativa, os avanços tecnológicos são conhecidos como processos que causam disrupções, levando a novos produtos e novas formas de produção que, em última análise, levam a um aumento da prosperidade de forma geral. Nesse contexto, as mudanças tecnológicas também trazem novos desafios à sociedade, que precisa se adaptar com a presença de novas tecnologias no seu dia-a-dia.

As recentes ondas de inovação têm provocado novas inquietações, pois o advento da robótica, da Inteligência Artificial (IA) e do *machine learning* (ML) incorporou novas ferramentas capazes de substituir o capital humano, empregado anteriormente em determinadas ocupações, por máquinas e outras ferramentas. “O número de robôs industriais por mil trabalhadores nas indústrias dos EUA era de 9,14 em 2014, enquanto o mesmo número foi consideravelmente maior no Japão (14,20), Alemanha (16,95) e Coreia do Sul (20,14)”¹ (ACEMOGLU; RESTREPO, 2018c, p. 1). A tendência é de que esses números aumentem cada vez mais nos próximos anos, alertando para a necessidade de um olhar mais crítico e ativo para tais implicações.

Muito pouco se sabe, entretanto, dos impactos dessas novas formas de automação, uma vez que a introdução de robôs industriais data do fim dos anos 1980, mas foi somente a partir de 1993 que o número de robôs em operação começou a crescer significativamente (ACEMOGLU; RESTREPO, 2017). Ainda que as evidências não sejam numerosas, estima-se que que até 2030,

¹ No original: The number of industrial robots per thousand workers in US manufacturing stands at 9.14 in 2014, while the same number is considerably higher in Japan (14.20), Germany (16.95) and South Korea (20.14).

75 milhões a 375 milhões de trabalhadores precisarão mudar suas categorias ocupacionais (MANYIKA et al., 2017).

Até agora, as evidências dos impactos da automação confirmam um aumento da produtividade do trabalho (GRAETZ; MICHAELS, 2018), destruição e deslocamento de ocupações (MANYIKA et al., 2017; ACEMOGLU; RESTREPO, 2017; FREY; OSBORNE, 2013; ARNTZ et al., 2016), polarização do mercado de trabalho (AUTOR et al., 1998; LANKISCH et al., 2019; AUTOR et al., 2003; ACEMOGLU, 2000; KATZ; MURPHY, 1992) e queda da participação do trabalho no produto agregado (ACEMOGLU; RESTREPO, 2017; AUTOR; SALOMONS, 2018).

Diante do cenário recente de mudança tecnológica aprofundado pelo processo de automação, por meio do advento da robótica, IA e ML, e considerando a reestruturação do mercado de trabalho mundial diante da inserção dessas novas tecnologias, o presente trabalho pretende analisar as evidências observadas até agora no que tange aos impactos no mercado de trabalho decorrente da implementação de novas tecnologias de automação, em termos de destruição e deslocamento de empregos e queda da participação do trabalho no produto agregado.

Para além dos impactos diretos, uma outra consequência, reforça a preocupação já existente de uma “automação excessiva” por parte de alguns economistas: o aumento da desigualdade de renda (LOHR, 2022). De acordo com Acemoglu (2002), metade ou mais da crescente diferença salarial entre os trabalhadores americanos nos últimos 40 anos é atribuível à automação de tarefas anteriormente feitas por trabalhadores, especialmente homens sem diploma universitário. A partir de 1980, após a difusão dos computadores na indústria americana, a demanda por trabalhadores mais qualificados cresceu em detrimento da camada de trabalhadores com baixa qualificação, gerando um aumento na diferença salarial desses dois grupos e revelando que o advento do computador pode ser um componente importante dos aumentos na demanda relativa por trabalhadores mais qualificados nas últimas décadas (AUTOR et al., 1998).

Com base na literatura contemporânea, que aborda especificamente as relações entre desenvolvimento tecnológico e mercado de trabalho, e analisando o papel dessas novas tecnologias de automação, apresenta-se a seguinte pergunta de pesquisa: “Quais os impactos diretos da automação recente no mercado de trabalho e como ela pode se relacionar com o aumento da

desigualdade de renda?” Nesse sentido, considerando que os países avançados e em desenvolvimento se encontram em diferentes etapas na implementação de tecnologias de automação, o presente trabalho terá como foco analisar as evidências já observadas nos países em que a automação se encontra mais acelerada.

De forma geral, o principal objetivo do trabalho é identificar como a implementação das novas tecnologias de automação, desde o advento dos robôs industriais na década de 1980, em larga escala está alterando a forma como o mercado de trabalho está organizado em certos países onde esse processo já está mais avançado e sistematizar as principais consequências manifestadas até agora emergindo de estudos recentes. Pretende-se ainda, analisar como a automação pode estar relacionada com o aumento da desigualdade de renda nos países onde essas tecnologias estão mais avançadas, considerando principalmente a distribuição salarial e de empregos, reconhecida como polarização do mercado de trabalho.

A fim de atingir tais objetivos, o presente trabalho adotará a metodologia de análise exploratória a partir da revisão da literatura teórica e principalmente empírica dentro do escopo da economia do trabalho. Serão adotadas técnicas de pesquisa bibliográfica e documental para identificar a partir de estudos recentes os principais impactos da automação no mercado de trabalho.

Considerando esse cenário, a gama de trabalhos que buscam trazer à tona as consequências já evidenciadas, bem como projeções do que pode estar por vir, é de suma relevância tanto para o meio acadêmico quanto para o campo das políticas públicas, que se apoiam nestes estudos para guiar decisões. Sendo assim, a compilação dos resultados obtidos até agora no âmbito da automação e do mercado de trabalho, objeto deste trabalho, possui um caráter importante de sistematização dos estudos recentes de forma a contribuir com a pesquisa futura nesse campo.

O presente trabalho será dividido em três capítulos, além desta introdução e da conclusão. O primeiro capítulo consiste em uma revisão histórica da relação entre o homem e as máquinas, explorando na literatura como as diferentes visões acerca das mudanças tecnológicas se diferenciavam em otimismo e pessimismo e como as evidências empíricas comprovaram ou não essas teses. No segundo capítulo, serão delimitadas as três formas de mudança tecnológica objeto deste trabalho bem como quais são os impactos diretos no mercado de trabalho em termos de

destruição e deslocamento de empregos observados até então. Por fim, no terceiro e último capítulo, será abordada a questão da desigualdade de renda na era da automação, ou seja, como essas novas tecnologias transformam a estrutura salarial e de empregos durante o período 1970-1990, principalmente através do fenômeno da polarização.

2. O AVANÇO DA AUTOMAÇÃO

Este capítulo apresenta uma revisão cronológica da relação do homem com as mudanças tecnológicas ao longo da história, enfatizando os temores e inseguranças quanto ao impacto das novas tecnologias no emprego e conseqüentemente na vida dos trabalhadores. Traçando uma linha do tempo que se inicia na Primeira Revolução Industrial, no final do século XVIII, e vai até o presente momento, remetendo à recente onda de automação iniciada nos anos 1990, será abordado o paradigma teórico dominante em cada um dos períodos a fim de detalhar como essa relação trabalhador-máquina se deu ao longo da história e como ela se relaciona com o período atual.

Partindo de uma abordagem limitada pelo desconhecido, mas que majoritariamente demonstrava uma visão otimista em relação ao futuro, exemplificada aqui pela Teoria da Compensação² no século XIX, são trazidas visões mais atuais e que analisam empiricamente o resultado desses processos. A partir do século XX, autores como Wesley Mitchell, Harry Jerome, Frederick Mills e Paul Douglas, trouxeram evidências empíricas para o debate, cunhando o termo “desemprego tecnológico”. Já na segunda metade do século XX e até os dias atuais, Daron Acemoglu, Pascual Restrepo, David Autor, Carl Frey e Michael Osborne, e outros, têm se atentado a analisar os impactos das novas formas de automação no mercado de trabalho.

2.1. A Revolução Industrial

A sociedade tem testemunhado o aumento rápido das inovações tecnológicas encabeçadas principalmente pelo desenvolvimento da robótica avançada, da IA e do ML desde o início dos anos 1990. Alguns estudos (MANYIKA et al., 2017) analisam as possíveis trajetórias que a sociedade pode seguir a partir da implementação dessas novas tecnologias e como elas podem se relacionar com a forma como a sociedade está organizada hoje. Entretanto, a incerteza acerca do tema ainda é presente entre os economistas.

A produção na maioria das indústrias requer a conclusão simultânea de uma série de tarefas (ACEMOGLU; RESTREPO, 2018a). A performance do processo depende, portanto do tempo alocado em cada uma delas e da combinação entre mão-de-obra humana e máquinas.

² Ao longo do capítulo, serão detalhadas as visões de Alfred Marshall, J. B. Say e John Stuart Mill como precursoras desse tipo de análise.

Entretanto, a indústria automatizada que conhecemos hoje nem sempre foi assim. A indústria britânica do século XVIII, berço da Revolução Industrial, era composta principalmente de trabalho humano, tendo as principais tarefas executadas manualmente por trabalhadores com o auxílio de algumas poucas ferramentas. Conforme relata Hobsbawm em *A Era das Revoluções* (p. 59):

A certa altura da década de 1780, e pela primeira vez na história da humanidade, foram retirados os grilhões do poder produtivo das sociedades humanas, que daí em diante se tornaram capazes da multiplicação rápida, constante, e até o presente ilimitada, de homens, mercadorias e serviços. Este fato é hoje tecnicamente conhecido pelos economistas como a “partida para o crescimento autossustentável”.

A introdução das primeiras formas de automação, principalmente na indústria têxtil da época, como a máquina de fiar, o tear movido a água, a fiadeira automática e posteriormente o tear a motor, eram suficientemente simples e baratos e se pagavam em um curto período de tempo em termos de maior produção (HOBSBAWM, 1991, p. 70). A partir de então, as máquinas foram introduzidas pouco a pouco em outros setores industriais e o mundo passaria a experimentar uma nova forma de produção e estruturação do trabalho.

Com a inserção de máquinas nas fábricas e indústrias, que até então desconheciam essa nova forma de produção, a preocupação com a estabilidade dos empregos ganhou espaço entre os trabalhadores. Os luditas, como ficaram conhecidos os tecelões que, entre 1811 e 1816, destruíam máquinas em oposição à mecanização de suas funções e ao desemprego (HOBSBAWM, 1991, p.75), foram um dos primeiros grupos a evidenciar essa preocupação com a perda de seus trabalhos por máquinas. A automação, como veremos adiante, exerceu um efeito de deslocamento: aos poucos, artesãos habilidosos passariam a ser substituídos por máquinas e, muitas tarefas anteriormente complexas, foram simplificadas, reduzindo a demanda por esses trabalhadores qualificados (ACEMOGLU, 2002).

A preocupação sobre o que viria a seguir não foi exclusiva dos luditas. Economistas da época também divergiram em opiniões e análises de curto e longo prazo acerca do impacto da inserção de máquinas. Ainda que a preocupação sobre o que viria a seguir se apresentasse através das opiniões negativas sobre os efeitos de curto prazo da inserção de máquinas, muitos deles tinham uma visão mais otimista em relação aos efeitos no longo prazo.

David Ricardo não acreditava que o desemprego tecnológico fosse o resultado necessário do progresso tecnológico, porém alertava que o capital gasto pelos capitalistas na compra de máquinas era retirado dos fundos disponíveis para pagamento dos salários e por esse motivo o investimento em máquinas poderia ocasionar a redução de empregos. Entretanto, Ricardo era otimista no longo prazo e acreditava que o aumento da produtividade em decorrência da automatização levaria a um aumento de poupança que poderia ser empregada na contratação de trabalhadores (MOKYR et al., 2015)

Contemporâneo de Ricardo, John-Baptiste Say tinha uma visão muito positiva sobre a modernização do processo produtivo que se desenhava na época. Autor da chamada Teoria da Compensação, que posteriormente seria enfatizada tanto por Mill quanto por Marshall, Say afirmou que a introdução de máquinas em determinada indústria deslocaria capital para outras, fazendo com que os trabalhadores desempregados na indústria automatizada fossem demandados em outros setores (FREITAS et al., 2011). Say introduziu um novo olhar sobre o progresso tecnológico que influenciaria os economistas a partir dele. De acordo com Rifkin (1995, p. 16), os economistas neoclássicos também incorporaram os conceitos de Say, argumentando que as novas tecnologias de racionalização do trabalho aumentam a produtividade, permitindo que os produtores produzissem mais unidades a um custo unitário menor e isso refletiria em um aumento da demanda (“a oferta cria sua própria demanda”) por esses bens mais baratos. Dessa forma, o aumento da produção compensaria a perda de empregos inicial decorrente dos avanços tecnológicos pois novas contratações seriam demandas para manter os níveis de produção elevados.

John Stuart Mill, em *Princípios de economia política* de 1848, argumentou que quando há um aumento de capital fixo para investimentos em máquinas e, conseqüentemente, uma redução do capital circulante em mãos dos capitalistas, a classe trabalhadora pode ser temporariamente prejudicada, uma vez que o capital circulante é a fonte utilizada para pagamento dos salários (FREITAS et al., 2011). Entretanto, ao longo de sua discussão, Mill admitiu que não acreditava que as melhorias introduzidas na produção poderiam ser prejudiciais para a classe trabalhadora no agregado (MOKYR et al., 2015).

De forma geral, Mill tinha uma visão cautelosa mas não se opunha ao emprego de máquinas nas indústrias. Para o autor, uma introdução de máquinas repentina e em larga escala

juntamente com uma redução do capital circulante em decorrência do aumento do capital fixo poderia gerar desemprego. Porém, considerando o cenário de abundância de capital nos países ricos e precursores do desenvolvimento tecnológico, o desemprego em massa seria improvável (FREITAS et al., 2011).

A partir de uma análise fundamentada na rotinização de tarefas que passaram a ser desempenhadas por máquinas, Alfred Marshall, em *Princípios de Economia: tratado introdutório* de 1891, argumentou que os trabalhadores deslocados encontrariam emprego em novas funções, no mesmo setor ou em setores diferentes, uma vez que as máquinas exigiriam o desempenho de novas tarefas. Os efeitos da introdução de máquinas seriam, de forma geral, benéficos para a economia, pois barateavam os bens, aumentavam a produção e conseqüentemente a demanda por mão-de-obra (FREITAS et al., 2011).

Em grande parte, os luditas se mostraram errados: os empregos não desapareceram completamente e as condições dos trabalhadores hoje são muito melhores do que as vividas na época. Entretanto, no curto prazo, seus empregos de fato foram destruídos e o salário real dos operários na Grã Bretanha reduziu-se quase à metade entre 1755 e 1802 (DUFLO; BANERJEE, 2019). A classe de trabalhadores mais afetada pela onda de inovação tecnológica da Revolução Industrial foram os empregados em indústrias caseiras domésticas³, que tinham uma intensidade de capital muito baixa e baixa produtividade, como os tecelões de teares manuais e os tricoteiros que trabalhavam em suas oficinas (MOKYR et al., 2015).

Além da destruição de empregos e deslocamento de trabalhadores entre setores, a introdução de máquinas decorrente da Revolução Industrial alterou a forma como o capital humano nas indústrias estava estruturado até então. Na primeira metade do século XIX, na Inglaterra, a máquina a vapor e outras tecnologias aumentaram a produtividade dos trabalhadores não qualificados e permitiram que eles realizassem trabalhos anteriormente realizados por trabalhadores mais qualificados e mais bem pagos (MANYIKA et al., 2017, p.46). Nos Estados Unidos, de acordo com Katz e Margo (2014), conforme citam Mokyr et al. (2015, p. 35), os autores identificaram um “esvaziamento” na distribuição de habilidades entre os trabalhadores,

³ O sistema doméstico era composto por trabalhadores – artesãos independentes e camponeses durante as estações não propícias ao cultivo – que, com suas próprias ferramentas, trabalhavam a matéria prima e entregavam-na aos mercadores (Hobsbawm, 1962, p. 72)

quando “as diferenças nos salários constituíam o “sinal” do mercado de que a sentença de morte estava soando para um estilo de vida e uma cultura da indústria rural baseada em indústrias caseiras”.

Goldin e Katz (1998) apresentaram evidências das mudanças tecnológicas com viés de habilidade que se desenhavam já no início do século XX e que constituiria uma das principais consequências das novas tecnologias de automação a partir de então. De acordo com os autores, com a difusão dos motores elétricos e a introdução de processos contínuos nas fábricas estadunidenses, as indústrias que utilizaram mais capital por trabalhador e tinham uma maior proporção de sua potência na forma de eletricidade comprada empregaram mais trabalhadores de colarinho azul⁴ qualificados entre 1909 a 1929.

As observações durante os séculos XIX e XX puderam responder a questão sobre os impactos da Revolução Industrial no curto e no longo prazo que inquietava os economistas da época. Conforme afirmam Duflo e Banerjee (2019, p. 282), “dizem-nos que no longo prazo tudo correu bem, mas o longo prazo foi realmente muito longo”.

Os salários dos trabalhadores da Grã-Bretanha apresentaram uma tendência de declínio a partir de 1755 que perdurou até a virada do século e só então, a partir do século XIX, eles voltariam a subir. A tendência de queda durou em torno de 65 anos, quando em 1820 os salários atingiriam o patamar de 1755 novamente (DUFLO; BANERJEE, 2019). Nos Estados Unidos, as taxas de crescimento do salário real cresceram entre 1820 e 1860, porém com variações consideráveis entre regiões, tempo e classe ocupacionais. Enquanto no Nordeste os salários acompanharam a média de crescimento, artesãos do Centro-Oeste viram seus salários cair durante esse período (MOKYR et al., 2015, p. 35).

Entretanto, a mecanização do início do século XIX só foi capaz de substituir um número limitado de tarefas ao mesmo tempo que criou outros tipos de trabalho que eram complementares aos bens de capital concretizados pelas novas tecnologias, aumentando a demanda por trabalho nessas atividades (MOKYR et al., 2015). As inovações aumentaram a produtividade dos setores em que foram implementadas e conseqüentemente a necessidade de insumos necessários para

⁴ Os chamados *blue-collar workers* são operários que realizam trabalho manual.

sua produção. As máquinas de fiação, por exemplo, aumentaram a demanda por fios, impulsionando a demanda por trabalhadores nessa categoria (DUFLO; BANERJEE, 2019).

Além do deslocamento entre setores manufatureiros, de acordo com Hobsbawm (1991), a massa de trabalhadores rurais que se encontrava ociosa devido a alterações sociais que acabaram com a agricultura comunal e de subsistência foi demandada para as novas ocupações industriais nas cidades. Entretanto, esse deslocamento de trabalhadores esbarrou em problemas como a falta de habilidade técnica e o ritmo de trabalho diário ininterrupto, os quais não se encaixavam no estilo de vida rural. Aos poucos, com a introdução de códigos de conduta e a criação de subcontratos⁵, as fábricas foram sendo ocupadas por esses trabalhadores.

Além de aumentar o lucro dos setores agora mecanizados, as novas tecnologias geraram aumento de riqueza individual para os donos das manufaturas, que passariam a demandar produtos e serviços em outros setores, como advogados, contadores, engenheiros, etc. (DUFLO; BANERJEE, 2019). De acordo com Mokyr et al. (2015, p. 36), o progresso tecnológico também assumiu a forma de *inovação de produtos* e, assim, criou setores inteiramente novos para a economia, um desenvolvimento que foi esquecido nas discussões dos economistas da época.

2.2. O início do século XX e a Grande Depressão

Uma vez que os efeitos da mecanização nas indústrias não corresponderam às expectativas dos luditas em termos de destruição de emprego e desemprego em massa, a preocupação com a “questão das máquinas” foi aos poucos perdendo o papel de pauta central nas análises econômicas e sociais após a segunda metade do século XIX. Devido às tendências de melhora no padrão de vida, os efeitos negativos da mudança tecnológica no emprego deixaram de ser vistos como um fator relevante (MOKYR et al., 2015, p. 36).

No início dos anos 1920, o clima de prosperidade experienciado pela sociedade era ao mesmo tempo acompanhado de debates acerca do futuro do desemprego por parte de alguns economistas. Em 1929, Wesley Mitchell, antigo-institucionalista influenciado por Thorstein Veblen e que representava o principal pensamento da época, escreveu:

⁵Os subcontratos eram a prática de fazer com que os trabalhadores menos qualificados estivessem sob a vigilância de trabalhadores mais qualificados, sendo estes os “empregadores” dos seus vigiados (HOBBSAWM, 1991, p. 92)

The new phrase coined to describe what is happening, "technological unemployment", designates nothing new in the facts, though the numbers affected may be large beyond precedent. Ever since Ricardo shocked his rigid disciples by admitting that the introduction of "labor-saving" machinery may cause a temporary diminution of employment, economists have discussed this problem. Granting Ricardo's admission, they have nevertheless held that, in the long run, changes in method which heighten efficiency tend to benefit wage earners ... the broad result plainly has been that the industrial triumphs of the nineteenth century increased the demand for labor and increased its rewards. "Labor-saving" machinery has turned out to be job-making machinery (FANO, 1984, p.280).

Conforme Ester Fano afirma em *The problem of "technological unemployment" in the industrial research of the 1930's in the United States* (1984, p. 281), "embora o desemprego não fosse visto em nenhum lugar como uma ameaça permanente, Mitchell refletia a preocupação generalizada com a grande e notável quantidade de danos que poderia causar às pessoas envolvidas, mesmo que apenas temporariamente", e afirmava que as tendências de criação de empregos não estavam acompanhando o deslocamento gerado pelo *boom* tecnológico e econômico da década de 1920.

A partir de 1929, com os efeitos da Grande Depressão cada vez mais visíveis e preocupantes, o termo *desemprego tecnológico* foi cunhado e passou a fazer parte do dicionário dos economistas na década de 1930. John Maynard Keynes escreveu sobre as preocupações que o afligiam acerca do progresso tecnológico que se desenhava e que se consolidaria nos 90 anos seguintes:

We are being afflicted with a new disease of which some readers may not yet have heard the name, but of which they will hear a great deal in the years to come--namely, *technological unemployment*. This means unemployment due to our discovery of means of economising the use of labour outrunning the pace at which we can find new uses for labour (KEYNES, 1930, p. 3).

Apesar da preocupação marcada na passagem, Keynes tinha um olhar otimista para o futuro, alertando que esse processo seria apenas uma "fase temporária de reajuste" e que no longo prazo a humanidade estaria colhendo os benefícios do progresso tecnológico (KEYNES, 1930). Fano (1984) e Mokyr et al. (2015) apresentam em seus trabalhos a abordagem dos economistas

das principais instituições de pesquisa da época que, assim como Keynes, demonstravam uma preocupação com os índices de desemprego mas enxergavam o longo prazo com otimismo.

De acordo com Fano (1984), Harry Jerome, Frederick Mills e Malcolm Rorty, todos sob o guarda-chuva teórico do National Bureau of Economic Research (NBER), assim como Mitchell, produziram estudos empíricos acerca das taxas de produtividade e níveis de emprego na época e descobriram que a crise atingiu a produção e o investimento, mas que a produtividade continuou a aumentar, enquanto a massa de trabalhadores empregados caiu. Nesse sentido, os autores reconheciam os efeitos temporários decorrentes da mecanização e demonstravam que suas visões estavam alinhadas com o otimismo de longo prazo e a preocupação imediata com o desemprego tecnológico.

Em *Mechanization in Industry* (1934), conforme cita Fano (1984, p. 283), Harry Jerome apresenta uma grande contribuição para análise da mecanização nas indústrias e diferentes métodos para a estimação do deslocamento agregado da mão-de-obra. Ainda segundo a autora, as análises de Jerome são importantes pois ele traça análises sobre os aspectos qualitativos do deslocamento de mão-de-obra, demonstrando que, ao mesmo tempo que novas habilidades e empregos são criados a partir da introdução de máquinas em um processo produtivo, outros são destruídos. Em um trecho do seu trabalho, Jerome resume seu pensamento sobre a introdução de máquinas e o contexto da época:

... the element of truth in this charge against the machine lies in the fact that there is a lag in absorption: and consequently the more rapid the displacement, the greater, probably, is the pool of at least temporarily unemployed workers. It may be a pool made up of ever changing individuals but even at that it represents in a sense a more or less permanent addition to the volume of unemployment... (JEROME apud FANO 1984, p. 283).

Paul Douglas, com uma visão otimista sobre o futuro, tinha seu trabalho em consonância com a Teoria da Compensação de Say, acreditando que o progresso tecnológico levaria a um aumento de produtividade que resultaria em aumento do poder de compra e indiretamente estimularia o investimento, realocando os trabalhadores deslocados nas indústrias (DOUGLAS apud FANO 1984, p. 284). Douglas, conforme cita Fano (1984, p.283), observou que entre 1919 e 1920 o número de empregados em manufaturas caiu 7%, enquanto a produção por trabalhador aumentou 45%, o que fez Douglas, assim como Jerome, acreditar que os aspectos qualitativos do

deslocamento de mão-de-obra significavam que a reabsorção dos trabalhadores desempregados pela mecanização se daria com um considerável atraso.

Das quatro décadas que se sucederam desde 1899, os trabalhadores empregados em fábricas duplicaram nos Estados Unidos. Em 1937 a manufatura representava 24% do total da população trabalhadora (FABRICANT, 1941, p. 4). Entretanto, de acordo com os trabalhos de Frederick Mills, David Weintraub e Harold Posner, conforme cita Fano (1984, p. 287), entre 1929 e 1935 o nível de emprego caiu mais do que o produto agregado devido ao aumento da produtividade. Conforme concluiu Mills (MILLS apud FANO 1984, p. 288):

... an undetermined but substantial proportion of the unemployed in any single year (from 1920 to 1935) probably consisted of workers who had been displaced from their jobs in one way or another by the employment dislocations which accompany technological progress.

Em 1925, foi criada uma Comissão para Educação e Trabalho dos Estados Unidos que tinha como objetivo analisar as ondas de demissões decorrentes das novas tecnologias. A conclusão dessa análise evidenciou que a maioria dos trabalhadores que perdiam seus empregos em função das melhorias tecnológicas continuava desempregada por um longo período e quando conseguiam emprego, geralmente eram em faixas salariais inferiores a que estavam alocados anteriormente (RIFKIN, 1995, p. 18).

Para além dos desenvolvimentos nas manufaturas, a agricultura também incorporava mudanças tecnológicas poupadoras de emprego que deslocavam fluxos de pessoas para as cidades em busca de novas oportunidades (MOKYR et al., 2015). Em 1939, uma estimativa de 1.626.000 tratores estavam em uso os Estados Unidos, quase o dobro do reportado em 1930, e a quantidade de energia elétrica utilizada na agricultura cresceu de 723 milhões de KWH em 1926 para 2.500 milhões de KWH em 1938. Dentre as consequências dessa mecanização estavam a queda do número de empregados na agricultura que, entre 1909 e 1939, caiu 13%, e uma tendência de concentração de pessoas de baixa renda nas regiões que já eram consideradas mais pobres. Durante os anos da década de 1920, houveram migrações desses trabalhadores rurais para as cidades, porém após 1929, devido à falta de empregos, a situação desses trabalhadores se agravou (FANO, 1984, p.292).

2.3. A segunda metade do século XX

A Segunda Guerra Mundial deixou de lado as discussões sobre os problemas do mercado de trabalho e as questões acerca do desemprego gerado pelas novas tecnologias desapareceram dos debates e estudos empíricos entre os economistas da época. Entretanto, logo após o período caótico, esses temas foram sendo retomados aos poucos devido aos novos avanços tecnológicos e às flutuações no mercado de trabalho. Woirol (1996), conforme cita Handel (2003), descreve que foi durante esse período que o termo *automação* foi cunhado para descrever as novas tecnologias de fabricação de ação automática (*self-acting manufacturing technology*).

Dentre as inovações caracterizadas por automatizar processos produtivos criadas nessa época estão os alimentadores e descarregadores automáticos introduzidos nas fábricas de motores da Ford, a introdução do serviço de discagem direta para telefone local e a tecnologia de reconhecimento de caracteres de tinta magnética que possibilitou que as máquinas classificassem cheques, rastreassem transações e imprimissem extratos (BIX, 2000 apud HANDEL, 2003, p. 5). De acordo com Acemoglu e Restrepo (2018), outro importante ponto de virada no processo de automação fabril foi a introdução de máquinas controladas por cartões perfurados e depois máquinas controladas numericamente na década de 1940.

A partir dessa época, a preocupação com o desemprego tecnológico expandiu-se para além das fronteiras acadêmicas, concentrada nos debates entre economistas, e passou a penetrar nas discussões políticas. Nos anos 1960, a Comissão sobre Tecnologia, Automação e Progresso Econômico concluiu que “o fato básico é que a tecnologia elimina empregos, não trabalho. É obrigação contínua da política econômica combinar aumentos no potencial produtivo com aumentos no poder de compra e na demanda. Caso contrário, o potencial criado pelo progresso técnico é desperdiçado em capacidade ociosa, desemprego e privação.” (MANYIKA et al, 2017, p. 60)

O desemprego tecnológico estava presente nos Estados Unidos pós-guerra. De acordo com Rifkin (1995, p. 33), o governo assumiu um papel importante na criação de empregos para amenizar os efeitos do desemprego tecnológico, com a criação de vagas no setor público e a promoção de obras públicas. Além disso, o advento da televisão e outros produtos eletrônicos de

consumos geraram demanda suficiente para proporcionar empregos aos trabalhadores deslocados pela automação.

O computador esteve de longe entre as principais invenções tecnológicas do século XX. De acordo com Bresnahan (1999), os computadores *mainframe* começaram a ser amplamente utilizados nos negócios (especialmente em serviços financeiros) no final dos anos 1950 e início dos anos 1960. A partir de então e até 1973, o número desses computadores cresceu rapidamente, alcançando todas as grandes cidades no final desse período. A difusão de computadores para a criação de aplicativos organizacionais começou, portanto, em 1950, e acelerou-se em 1960 e 1970 (BRESNAHAN, 1999, p. F397). Com o surgimento do Apple II em 1977 e do IBM PC em 1981, os computadores pessoais (PCs) se espalharam rapidamente nos anos 1980 e início dos anos 1990 (AUTOR et al., 1998, p. 1187). De acordo com Autor (2014, p. 129), “a participação de equipamentos e softwares de processamento de informações no investimento privado aumentou de aproximadamente 8% para mais de 30% entre 1950 e 2012, com o maior salto ocorrendo entre 1990 e 2000”. Esse crescimento reflete a magnitude da presença dos computadores na vida humana, sendo a única categoria de investimento de capital que dominou de forma tão rápida todas as outras.

Com a possibilidade de digitar e editar os trabalhos de forma mais rápida com o uso de computadores, os empregos de pessoas especializadas nesses serviços, como datilógrafos e secretários se tornou desnecessário. Ao mesmo tempo, as indústrias responsáveis pela produção desses computadores e outras indústrias fornecedoras de matéria-prima passaram a demandar mais trabalhadores para essas funções. Além disso, novas ocupações relacionadas ao uso de computadores - administradores de sistemas de TI e cientistas da computação – foram criadas. O resultado desse fluxo de empregos resultou em uma criação líquida de 15,8 milhões de empregos desde 1970 (MANYIKA et al, 2017, p. 40).

A difusão de computadores nas rotinas de indústrias e serviços abriu precedente para o desenvolvimento de trabalhos acerca de um possível novo impacto decorrente da mecanização de funções: a mudança tecnológica com viés de habilidade. Ainda em 1962, o termo *desemprego estrutural* estava em voga para explicar o desemprego involuntário que não refletia o ciclo de negócios ou padrões tradicionais de perda ou busca temporária de emprego. Os economistas, preocupados em explicar esse hiato, encontraram na rápida mudança tecnológica uma possível

explicação, que posteriormente seria reconhecida pelos proponentes da mudança tecnológica com viés de habilidade: mudanças tecnológicas, como a automação, criam uma barreira significativa para absorver segmentos de desempregados, acelerando a mudança na demanda de trabalho para os trabalhadores mais qualificados (HANDEL, 2003, p. 6).

Dessa forma, uma gama extensa de autores⁶ buscou explicar, através de estudos empíricos, a relação entre o hiato salarial entre os trabalhadores mais e menos qualificados e a mudança tecnológica a partir dos anos 1950, principalmente (mas não só) nos Estados Unidos, onde o desenvolvimento era mais visível. Acemoglu (2000, p. 4) afirma que a desigualdade salarial aumentou acentuadamente a partir de 1970: enquanto os salários médios estagnaram, os salários dos trabalhadores de baixa qualificação caíram em termos reais. Ainda de acordo com o autor:

Personal computers, computer-assisted production techniques and robotics appear to complement skilled workers, replacing many labor intensive tasks. In this light, it is perhaps natural to view the increase in inequality over the past several decades as a direct consequence of technical change (ACEMOGLU, 2000, p. 2).

2.4. O fim do século XX e os dias de hoje

Olhando para trás, percebe-se que as mudanças tecnológicas alimentavam temores e inseguranças quanto aos efeitos que pudessem causar na forma como a sociedade e a vida estava organizada. Entretanto, a teoria econômica convencional tem ditado por mais de um século que o desenvolvimento tecnológico “aumenta a produtividade, reduz custos de produção e aumenta a oferta de produtos baratos, que por sua vez, aumentam o poder aquisitivo, expandem mercados e geram mais empregos” (RIFKIN, 1995, p. 15). A questão, porém, pode ser diferente com as novas tecnologias de automação do século XXI. Conforme afirma Mokyr et al. (2015, p. 42):

The mechanical innovations of the Industrial Revolution acted as a substitute for human (and animal) strength as well as dexterity, but the machines of that time could not reason, compare, compute, read, smell, sense, hear, or make snap decisions. However, if artificial

⁶Ver (KATZ; MURPHY, 1992), (AUTOR; KATZ; KRUEGER, 1998), (GOLDIN; KATZ, 1998), (ACEMOGLU, 2000), (KRUSSEL et al, 2000), (LANKISCH; PRETTNER; PRSKAWETZ, 2018), (ADERMON, GUSTAVSSON, 2015).

intelligence and robotics continue on their present trend, future machines will be able to carry out these human capabilities, at least in certain contexts and to a certain extent.

Embora tais temores não tenham se provado verdadeiros para o passado tecnológico, a noção subjacente é que a automação e a digitalização estão penetrando cada vez mais no domínio de tarefas que até recentemente costumavam ser genuinamente humanas (ARNTZ et al., 2016), e isso pode ter um impacto diferente dos observados até agora. Algumas razões para as novas formas de automação trazerem mais disrupção no mercado de trabalho do que no passado são: a capacidade das máquinas de realizar atividades de trabalho que exigem capacidades cognitivas, a taxa de progresso em inovações e um futuro potencial em que as máquinas aprendem a melhorar em tarefas específicas sem muita intervenção humana. Apesar dessas considerações, muitos economistas tendem a acreditar que a automação recente seja apenas mais uma onda de avanço tecnológico e que um equilíbrio entre oferta e demanda de empregos será alcançado, mesmo que o período de transição possa ser mais difícil (MANYIKA et al, 2017, p. 48). Porém, conforme afirmam os autores do relatório *Jobs lost, jobs gained: workforce transitions in a time of automation* (2017, p. 48):

(...) Identificamos duas maneiras pelas quais a automação, a robótica e a IA podem divergir das ondas anteriores de disrupção tecnológica: a velocidade com que os avanços científicos estão sendo feitos, se a taxa acelerada de progresso em aprendizado de máquina e IA continuar, e o potencial de deslocar uma parcela maior da força de trabalho em um curto período de tempo, principalmente se a adoção da automação for rápida em vários setores da economia⁷.

⁷ No original: (...) we have identified two ways in which automation, robotics, and AI could diverge from earlier waves of technology disruption: the speed at which scientific advances are being made, if the accelerated rate of progress in machine learning and AI continues, and the potential to displace a higher share of the workforce in a relatively short period of time, particularly if the adoption of automation is rapid across multiple sectors of the economy.

3. IMPACTOS DIRETOS SOBRE O MERCADO DE TRABALHO

Com base na revisão histórica sobre a relação homem-máquina explorada no Capítulo 1, e observando os medos insurgentes e as consequências de fato experienciadas a cada mudança tecnológica, o presente capítulo visa investigar os principais impactos já observados empiricamente da nova onda de automação iniciada nos anos 1990. O que difere essa última mudança tecnológica das anteriores são os novos adventos tecnológicos, que não assumem a capacidade cognitiva como exclusiva do ser humano, como a robótica avançada, a IA e o ML, e, portanto, podem representar uma ameaça maior aos empregos do que as tecnologias anteriores que serviam como ferramentas complementares, como o computador.

Para sistematizar as evidências já observadas dos impactos dessas novas tecnologias no mercado de trabalho, primeiramente serão definidas, com base na literatura, o que cada uma delas consiste considerando também o horizonte de implementação. Posteriormente, serão analisados os impactos diretos em termos de destruição de ocupações, deslocamento de empregos e queda da participação do trabalho no produto agregado já observados empiricamente, de acordo com parte da literatura disponível até então. Por fim, serão abordados os mecanismos de compensação observados em alguns estudos que freiam a expansão desses impactos.

3.1. A automação recente

A automação, como uma forma de mudança tecnológica, não é um termo recente e já esteve presente no debate em outros momentos da história. Conforme Cox (2019), a automação pode acontecer de várias maneiras: a substituição direta do trabalho por máquinas, a substituição do trabalho repetitivo suportado por máquinas por máquinas melhores que requerem menos intervenção humana, a substituição de métodos antigos por métodos mais novos e mais eficientes e a substituição do trabalho por *software* que requer menos intervenção humana. Percebe-se, dessa forma, que em síntese a automação prevê a substituição da forma de trabalho anteriormente desempenhada por uma forma de trabalho com performance superior.

Entretanto, as novas tecnologias de automação estão surpreendendo à medida que estão sendo criadas. Conforme escreveram Brynjolfsson e McAfee (2014) em *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*:

We wrote this book because we got confused. For years we have studied the impact of digital technologies like computers, software, and communications networks, and we thought we had a decent understanding of their capabilities and limitations. But over the past few years, they started surprising us. Computers started diagnosing diseases, listening and speaking to us, and writing high-quality prose, while robots started scurrying around warehouses and driving cars with minimal or no guidance.

Considerando as novas formas de automação desenvolvidas desde o final do século XX até os dias atuais, de acordo com Manyika et al. (2017, p. 24), três fatores estão direcionando e diferenciando os novos avanços tecnológicos dos experienciados até então:

1. Os algoritmos de *machine learning*, que avançaram por meio do *deep learning* e *reinforcement-learning* baseado em redes neurais;
2. A capacidade computacional, que possibilita o manuseio e a execução de modelos muito grandes e complexos de forma muito mais rápida através de *data centers* acessíveis aos usuários por meio da nuvem;
3. E a enorme quantidade de dados criados diariamente a partir de cliques, imagens, localizações móveis, etc. – *Big Data* – que podem ser usados para criação de modelos de *machine learning*.

Dessa forma, identificam-se três novas tecnologias de automação presentes atualmente que estão sendo responsáveis pelas principais consequências observadas no mercado de trabalho até agora: a robótica avançada, a Inteligência Artificial e o Machine Learning.

3.1.1. Robótica avançada

Baseado na definição de robôs industriais do International Federation of Robotics, Acemoglu e Restrepo (2017, p. 2) definiram robôs industriais como “máquinas totalmente autônomas que não necessitam de operador humano e que podem ser programadas para realizar diversas tarefas manuais como soldagem, pintura, montagem, manuseio de materiais ou embalagem”. Eles podem ser categorizados em cinco tipos diferentes de acordo com suas funções: *soft-robotics* (robôs construídos com materiais macios que podem manipular itens de tamanho, forma e peso variados com um único dispositivo), *swarm robotics* (sistemas coordenados de vários robôs), *tactile/touch robotics* (partes do corpo robótico com capacidade de sentir, tocar, exibir destreza e executar uma variedade de tarefas), *serpentine robotics* (robôs de aparência de uma

serpentina com muitos graus internos de liberdade para atravessar espaços apertados) e *humanoid robotics* (robôs fisicamente semelhantes aos seres humanos que integram uma variedade de IA e são capazes de realizar uma variedade de tarefas humanas) (MANYIKA et al., 2017).

O desenvolvimento tecnológico possibilitou a criação de robôs que executam diversas funções com uma rapidez jamais atingida e sem a necessidade de intervenção humana. Essas capacidades diferenciam os robôs atuais das ondas anteriores de automação e das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) mais convencionais, que proporcionaram uma dinamização tecnológica porém com uma necessidade humana (GRAETZ; MICHAELS, 2018).

3.1.2. Inteligência Artificial

A IA permitiu que máquinas que até então desempenhavam tarefas estritamente físicas pudessem adquirir capacidade cognitiva para desempenhar tarefas ainda mais complexas, como demonstrar amplas habilidades em reconhecimento de padrões, comunicação complexa e outros domínios que costumavam ser exclusivamente humanos (BRYNJOLFSSON; MCAFFE, 2014). A definição de IA tem diferentes definições de acordo com o autor que está analisando, o que pode tornar o conceito nebuloso. De acordo com a definição estabelecida pelo OECD's AI Experts Group (AIGO) (OECD, 2019, p. 7):

An AI system is a machine-based system that can, for a given set of human-defined objectives, make predictions, recommendations or decisions influencing real or virtual environments. It uses machine and/or human-based inputs to perceive real and/or virtual environments; abstract such perceptions into models (in an automated manner e.g. with machine learning (ML) or manually); and use model inference to formulate options for information or action. AI systems are designed to operate with varying levels of autonomy.

Conforme Brynjolfsson e McAffe (2014), em breve as tecnologias de IA estarão presentes em praticamente todas as áreas da vida das pessoas e serão utilizadas para, por exemplo, reconhecer os rostos de amigos em fotos e recomendar produtos, dirigir carros automaticamente na estrada, guiar robôs em armazéns e melhorar a correspondência entre vagas de emprego e candidatos.

3.1.3. *Machine learning*

Apesar de estar compreendido no contexto da IA, o *machine learning* apresenta uma característica distinta das demais tecnologias pois é capaz de “desenvolver sistemas que “aprendem”, ou seja, os programadores “treinam” esses sistemas em vez de “programá-los” (MANYIKA et al, 2017, p. 140). De acordo com Brynjolfsson e McAfee (2014), o ML representa a capacidade de um computador de refinar automaticamente seus métodos e melhorar seus resultados à medida que obtém mais dados. Ou seja, através de dados já conhecidos, o ML permite que uma máquina ou um *software* seja capaz de desempenhar sua função e em seguida aprender com as decisões corretas e incorretas, adicionando essa experiência à sua base de dados.

De acordo com Manyika et al. (2017, p.140), o ML pode ser subdividido nas seguintes categorias: *supervised learning* (técnicas de ML que treinam um sistema para responder adequadamente a estímulos, fornecendo um conjunto de treinamento de entrada de amostra e pares de saída desejados), *transfer learning* (desenvolve sistemas que armazenam o conhecimento adquirido ao resolver um problema e aplicá-lo a um problema diferente mas relacionado) e *reinforcement-learning* (sistemas que são treinados recebendo “recompensas” ou “punições” virtuais por comportamentos em vez de aprendizado supervisionado em pares corretos de entrada-saída).

3.1.4. O ritmo de adoção das novas tecnologias de automação

Apesar de as projeções quanto ao nível de automação a ser experienciado pela sociedade demonstrarem um potencial muito grande, a implementação dessas tecnologias pode levar mais tempo do que o esperado, isso porque a viabilidade técnica não é o único fator relevante no ritmo da adoção da automação. De acordo com Manyika et al. (2017, p. 2), outros fatores incluem o custo do desenvolvimento e implementação das soluções para usos específicos no mercado de trabalho, a dinâmica do mercado de trabalho (quantidade e qualidade da mão-de-obra e salários associados), os benefícios da automação para além da substituição de mão-de-obra e a aceitação social.

Por outro lado, o ritmo de crescimento das novas tecnologias no últimos anos é inegável e as projeções para os próximos anos também precisam ser levados em conta. De acordo com a

Figura 1, o número de robôs industriais operando em fábricas atingiu o maior nível da história em 2019, 2,7 milhões de unidades, representando um crescimento de 85% em cinco anos (2014-2019).

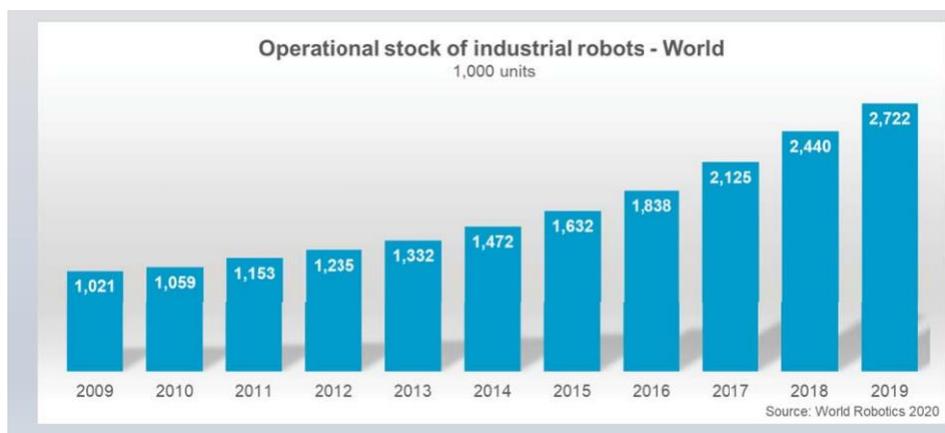


Figura 1 - Estoque Operacional de Robôs Industriais

Fonte: International Federation of Robotics (2020)

A participação de robôs instalados na Ásia representou cerca de dois terços da oferta global. Na América do Sul, o Brasil representa o principal destino de robôs industriais (ainda que bem abaixo em relação aos países mais avançados), contabilizando 15.300 unidades, um aumento de 8% em relação a 2018 (IFR, 2020).

Os debates⁸ acerca do desenvolvimento tecnológico no passado, a extensão desse impacto para o mercado de trabalho e quais as possíveis soluções para o desemprego em massa decorrente da automatização de empregos e tarefas estão sendo retomados no debate atual sobre a automação, principalmente considerando tantos os dados reportados até agora quanto as projeções para os próximos anos. Dessa forma, a rápida difusão do uso de robôs, IA e ML nas indústrias e locais de trabalho tem influenciado diversos autores⁹ a analisar empiricamente os efeitos dessas novas formas de automação no mercado de trabalho. O resultado desses estudos permite categorizar os efeitos até agora evidenciados em dois aspectos principais que serão sistematizados neste e no próximo capítulo:

⁸ Conforme apresentado no Capítulo 1.

⁹ Ver por exemplo (FREY; OSBORNE, 2013), BOWLES (2014), (ARNTZ et al., 2016), (MANYIKA et al., 2017), (ACEMOGLU; RESTREPO, 2017), (DAUTH et al., 2017), (GEORGIEFF; HYEE, 2021).

1. O impacto direto no mercado de trabalho em termos de destruição de funções, deslocamento de empregos e a participação do trabalho no produto agregado;
2. A relação com a desigualdade de renda evidenciada principalmente através da polarização do mercado de trabalho, tratada na literatura pelas hipóteses de mudança tecnológica com viés de habilidade (*skill-biased technological change* – SBTC) e mudança tecnológica tendenciosa à rotina (*routine-biased technological change* – RBTC)¹⁰.

3.2. Efeitos diretos: destruição e deslocamento de empregos e queda da participação do trabalho no produto agregado

Dentre os principais temores em relação aos impactos da mudança tecnológica está a destruição de ocupações e conseqüentemente o encaminhamento dos trabalhadores dessas funções para o desemprego. No decorrer da história econômica, as ondas de mudança tecnológica impactaram empregos suscetíveis às novas tecnologias, deslocando a massa de desempregados para outras funções, novas ou antigas. No debate atual, a destruição e o deslocamento de trabalhadores têm sido analisados empiricamente por autores como Frey e Osborne (2013), Bowles (2014), Arntz et al (2016), Manyika et al. (2017), Acemoglu e Restrepo (2017), Dauth et al. (2017), entre outros.

O estudo de Frey e Osborne (2013) está entre os principais e mais citados trabalhos acerca da suscetibilidade dos empregos à automação experienciada nas últimas décadas. Partindo do pressuposto de que as atividades desempenhadas e/ou auxiliadas por um computador têm se expandido nos últimos anos, principalmente em decorrência dos avanços em *machine learning*, Frey e Osborne (2013) basearam-se no modelo de Autor et al. (2003) para analisar o impacto dessa tecnologia no emprego. Entretanto, o trabalho de Frey e Osborne (2013) se difere do de Autor et al. (2003) pois, enquanto o último prevê a substituição de trabalhadores somente em tarefas rotineiras manuais e cognitivas, o primeiro considera a automação do trabalho em uma ampla gama de tarefas não rotineiras, devido aos desenvolvimentos recentes em ML e robótica avançada (FREY; OSBORNE, 2013, p. 23).

¹⁰ Essa discussão será abordada no Capítulo 3.

Conforme a Figura 2, Frey e Osborne (2013) estimaram uma probabilidade de 47% do emprego total nos EUA com alto risco de desaparecimento nos próximos 20 anos (2013-2033), considerando nesse cálculo a categorização de 702 ocupações e argumentando que a automação não afetará somente as tarefas rotineiras mas cada vez mais as não-rotineiras. Nas próximas décadas, a extensão da automação será determinada pelo ritmo em que os chamados “gargalos de engenharia” podem ser superados. Esses gargalos são definidos como ocupações que requerem determinadas habilidades mais complexas, como percepção e manipulação, inteligência criativa e inteligência social (FREY; OSBORNE, 2013, p. 22-27).

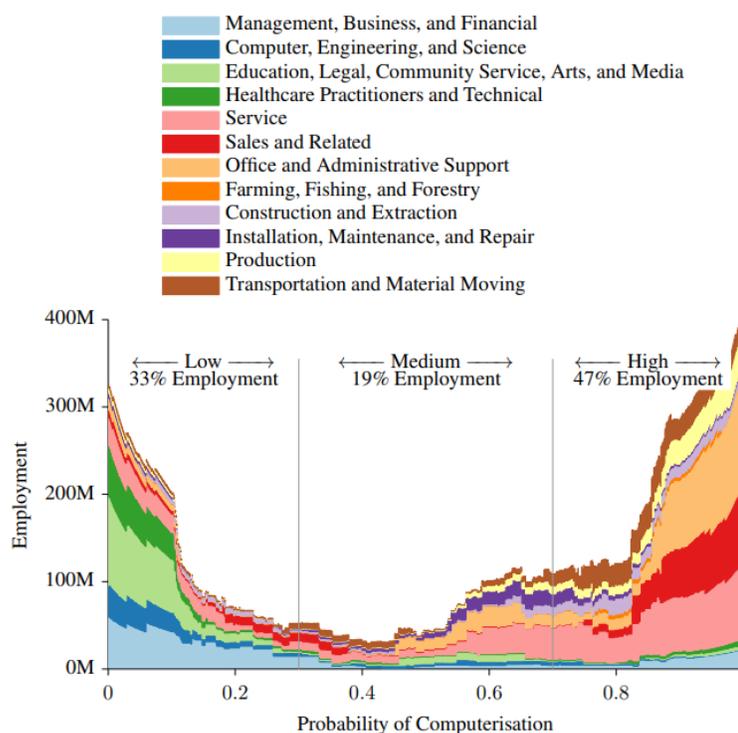


Figura 2 - Probabilidade de automação de empregos nos EUA

Fonte: Frey e Osborne (2013, p. 37)

Estendendo a análise para o mercado de trabalho europeu, Bowles (2014) replicou a metodologia desenvolvida por Frey e Osborne (2013) e identificou que a proporção de trabalhadores suscetíveis à automação pode variar entre 40% a 60% nas próximas décadas na UE, resultando em uma média de 54% do emprego total com alto risco de automação. Além disso, os

resultados encontrados apontam para um maior risco de automatização de empregos em países periféricos da União Europeia, como Romênia e Portugal, afetando principalmente trabalhadores com qualificação e salários mais baixos (BOWLES, 2014).

A metodologia desenvolvida por Frey e Osborne (2013) apresenta limitações, de acordo com alguns autores. Segundo Arntz et al. (2016, p. 7-6), em primeiro lugar, a automação normalmente tem o intuito de automatizar certas tarefas e não ocupações como um todo, sendo necessário estabelecer uma análise por tarefas. Em segundo lugar, a possibilidade de usar máquinas em vez de humanos para automatização de certas tarefas não necessariamente implica a substituição de humanos por máquinas e conseqüentemente perdas reais de emprego. Dessa forma, estudos subsequentes (ARNTZ et al, 2016; MANYIKA et al., 2017; ACEMOGLU; RESTREPO, 2017; CHIACCHIO et al, 2018; AUTOR, 2015) quebraram ocupações em tarefas a fim de medir a probabilidade de automação de tarefas e não de empregos como um todo, aplicando uma abordagem baseada em tarefas em oposição à abordagem baseada em ocupações, desenvolvida por Frey e Osborne (2013).

Com o intuito de contornar as limitações no trabalho de Frey e Osborne (2013), Arntz et al. (2016) re-estimaram o risco de automação de empregos dos Estados Unidos e transferiram essa relação empírica para 21 países da OCDE, assumindo que a automação é capaz de automatizar certas tarefas e não ocupações. O argumento por trás dessa abordagem consiste no fato de que as estruturas de tarefas dos trabalhadores diferem dentro das ocupações e entre países. Dessa forma, mesmo dentro das mesmas ocupações os trabalhadores são expostos de maneira diferente à automação, dependendo das tarefas que realizam (ARNTZ et al., 2016, p. 12).

Os resultados encontrados por Arntz et al. (2016, p. 14-20) demonstram um impacto menor do que aquele encontrado por Frey e Osborne (2013). Para os Estados Unidos, somente 9% dos trabalhadores estão suscetíveis à uma alta automatização, revelando que trabalhadores em ocupações com – de acordo com Frey e Osborne (2013) - alta automatização podem executar tarefas difíceis de automatizar. Para os países da OCDE analisados, a porcentagem de trabalhadores suscetíveis à automação varia de 12% na Áustria para 6% na Coreia do Sul, conforme a Figura 3.

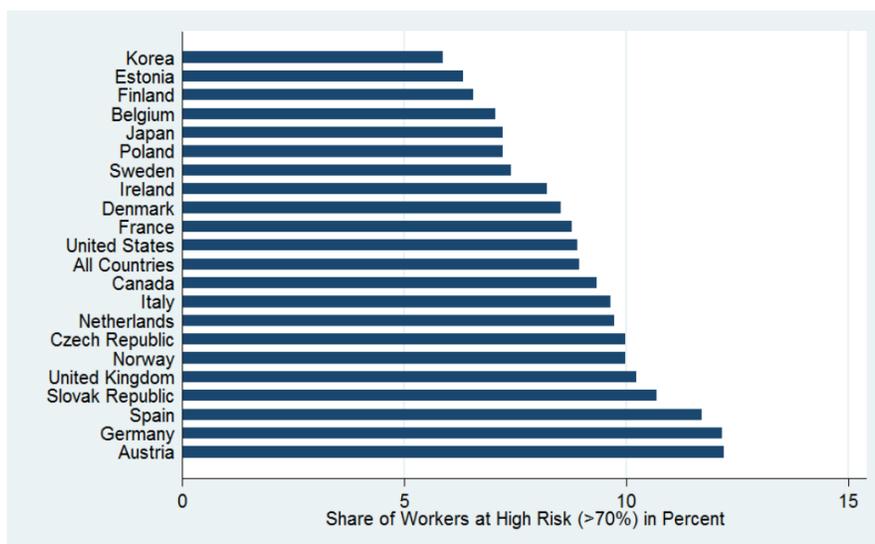


Figura 3 - Parcela de trabalhadores com alta potencial de automatização por países da OCDE

Fonte: Arntz et al. (2016, p. 16)

Manyika et al (2017) avaliaram o número e o tipo de empregos que podem ser substituídos pela automação até 2030, contrapondo aos empregos que potencialmente podem ser criados em decorrência do mesmo processo. Estendendo uma análise para 46 países e cobrindo quase 90% do PIB global, o trabalho focou em seis países (China, Alemanha, Índia, Japão, México e Estados Unidos), analisando as tendências de mudança líquida de empregos considerando 800 ocupações e baseadas em diferentes cenários de ritmo de adoção da automação. De forma geral, a criação de novos empregos deve sobrepor-se à destruição de empregos *se* os setores privados e governamentais garantirem a criação de oportunidades para retomar a dinâmica do mercado de trabalho (MANYIKA et al, 2017, p. 11). Entretanto, o período de transição e deslocamento de trabalhadores deverá ser significativo.

De acordo com Manyika et al. (2017, p. 28), 50% das atividades de trabalho globalmente podem ser automatizáveis adaptando as tecnologias atualmente demonstradas. Entretanto, decorrente dos entraves na implementação dessas tecnologias, o cenário para 2030 é de que 15% das atividades de trabalho poderão ser automatizadas até lá. Nesse cenário, estima-se que entre 400 milhões e 800 milhões de indivíduos podem ser deslocados pela automação e precisarão encontrar novos empregos até 2030 em todo o mundo. Desse total de deslocados, de 75 milhões a 375 milhões terão que mudar suas categorias ocupacionais e aprender novas habilidades (MANYIKA et al, 2017, p.12).

Os resultados divergem bastante entre os países analisados. Conforme a Figura 4, os países desenvolvidos (Alemanha, Estados Unidos e Japão) apresentam maior potencial de automação de tarefas do que os países em desenvolvimento. Essa dinâmica é decorrente de diversos fatores, entre eles os salários mais altos que tornam a automação economicamente mais atrativa, o mix de atividades que também afeta a taxa de automação modeladas e a importância da agricultura na renda nacional nos países em desenvolvimento (MANYIKA et al, 2017, p. 29).

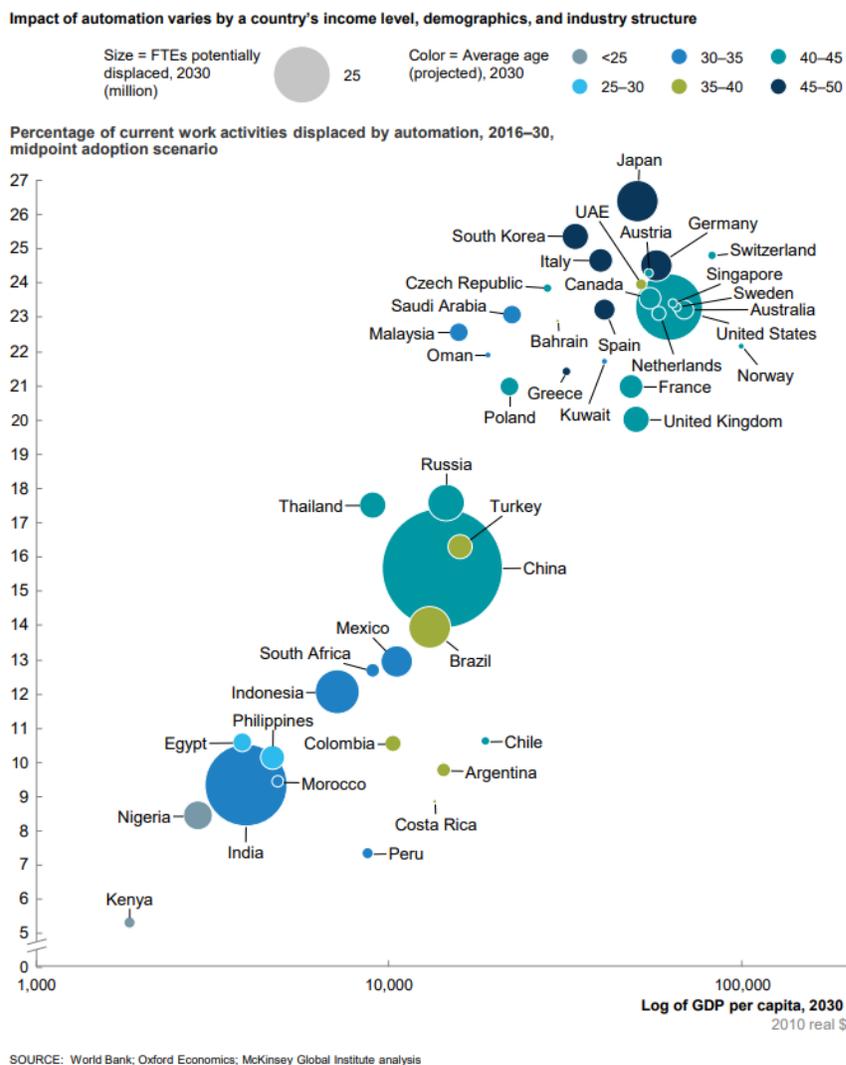


Figura 4 – Potencial de automação por país

Fonte: Manyika et al. (2017, p. 3)

Analisando o impacto de robôs industriais nos mercados de trabalho locais dos Estados Unidos, Acemoglu e Restrepo (2017) desenvolveram um modelo onde robôs e trabalhadores competem na produção de diferentes tarefas. De acordo com Acemoglu e Restrepo (2017, p. 2):

A maior penetração de robôs na economia afeta negativamente os salários e o emprego por causa de um *efeito de deslocamento* (deslocando diretamente os trabalhadores das tarefas que eles desempenhavam anteriormente), mas também positivamente por causa de um *efeito de produtividade* (à medida que outras indústrias e/ou tarefas aumentam sua demanda por mão de obra)¹¹.

Construindo uma regressão para analisar a mudança dessas duas variáveis em relação à exposição a robôs, os autores chegaram a resultados que explicam o impacto de robôs nos empregos e nos salários. Entre 1990 e 2007, tanto o emprego quanto os salários caíram de maneira robusta e significativa: o aumento no estoque de robôs (um novo robô por mil trabalhadores) reduziu em 0,37 ponto percentual a proporção emprego/população e em 0,73 ponto percentual os salários médios, em relação às zonas sem exposição a robôs. Isso implica que a introdução de mais um robô reduz o emprego em 6,2 trabalhadores. Em relação aos resultados no agregado, controlando para os efeitos do comércio, as estimativas implicam que um robô a mais por mil trabalhadores reduz o emprego em 5,6 trabalhadores e os salários em cerca de 0,5 ponto percentual (ACEMOGLU; RESTREPO, 2017, p. 4).

Utilizando a mesma abordagem de equilíbrio do mercado de trabalho local desenvolvida por Acemoglu e Restrepo (2017), Chiacchio et al. (2018) analisaram o impacto da inserção de robôs industriais no emprego e nos salários em seis países da União Europeia: Finlândia, França, Alemanha, Itália, Espanha e Suíça, que representavam 85,5% do total do mercado de robôs da União Europeia em 2007. Os resultados convergiram com aqueles encontrados por Acemoglu e Restrepo (2017) nos Estados Unidos: a inserção de um robô adicional por mil habitantes reduz a taxa de emprego em 0,16-0,20 ponto percentual, revelando um efeito deslocamento mais proeminente em trabalhadores homens, jovens e com educação média. Em relação aos impactos

¹¹ No original: Greater penetration of robots into the economy affects wages and employment negatively because of a displacement effect (by directly displacing workers from tasks they were previously performing), but also positively because of a productivity effect (as other industries and/or tasks increase their demand for labor).

nos salários, os autores não encontraram resultados robustos e significativos para trazer à tona (CHACCHIO et al, 2018, p. 2).

Ainda contribuindo com a literatura sobre o impacto da inserção de robôs no emprego em indústrias, Dauth et al. (2017) realizaram um estudo para verificar esse fenômeno na Alemanha. As razões para a Alemanha ser um país importante para esse tipo de estudo decorrem de a Alemanha representar uma economia com maior atuação de robôs do que os Estados Unidos, bem como um importante polo industrial de robôs. Apesar disso, a Alemanha ainda desponta entre as principais potências industriais do mundo com uma parcela de emprego excepcionalmente grande (DAUTH et al., 2017). Nesse sentido, a Alemanha é um importante mercado para analisar o efeito da inserção de robôs em um contexto com muito mais empregos industriais passíveis de serem substituídos e onde o uso de robôs já é mais maduro e difundido.

Os resultados encontrados pelos autores demonstram diferenças substanciais daquelas encontrados nos Estados Unidos (ACEMOGLU; RESTREPO, 2017) e na Europa como um todo (CHACCHIO et al, 2018). De acordo com Dauth et al. (2017, p. 22-27), o modelo aplicado revelou que o efeito marginal da exposição de robôs no emprego total da população foi de -0,0190, ou seja, estatisticamente indistinguível de zero (em oposição aos 0,37 encontrados por Acemoglu e Restrepo (2017)). Sendo assim, os resultados indicam que não há um efeito direto de robôs no emprego total. Entretanto, considerando o cenário exclusivamente de empregos industriais, os autores identificaram que a inserção de um robô adicional resulta na perda de, em média, 2 empregos. Isso contabiliza a perda de 275.000 empregos de manufatura no período 1994-2014. Porém, essas perdas foram compensadas pela criação de empregos em outros setores da economia, enfatizando que os robôs não destruíram o número total de empregos mas alteraram a composição do emprego na economia alemã.

Georgieff e Hye (2021) adaptaram a metodologia aplicada em Felten, Raj and Seamans (2018; 2019) - um indicador que mede o grau em que as ocupações dependem de habilidades nas quais a IA fez mais progressos nos últimos anos - e o estenderam para 23 países da OCDE. Assim como em Acemoglu e Restrepo (2017), de acordo com os autores, há dois efeitos principais decorrentes da inserção de IA no mercado de trabalho: o *efeito substituição*, segundo o qual o emprego pode cair à medida que as tarefas são automatizadas, e o *efeito produtividade*, quando os

custos de produção mais baixos aumentam a produção se houver demanda suficiente para o bem/serviço.

Os resultados encontrados por Georgieff e Hye (2021, p. 37-42) indicam que não há uma relação clara entre a exposição à IA e o aumento do emprego entre todas as ocupações analisadas. Entretanto, nas ocupações em que o uso de computadores é maior, a IA parece estar positivamente associada com o aumento do emprego, enquanto nas ocupações com menor uso de computadores, a relação é negativa. O caso dos Estados Unidos (Figura 5), evidencia esse comportamento: a correlação entre exposição à IA e o crescimento do nível de emprego é mais forte em ocupações com maior uso de computadores. Em contraste, as ocupações com grande uso de computadores que tiveram crescimento de emprego baixo ou nulo entre 2012 e 2019 foram aquelas com relativamente pouca exposição à IA.

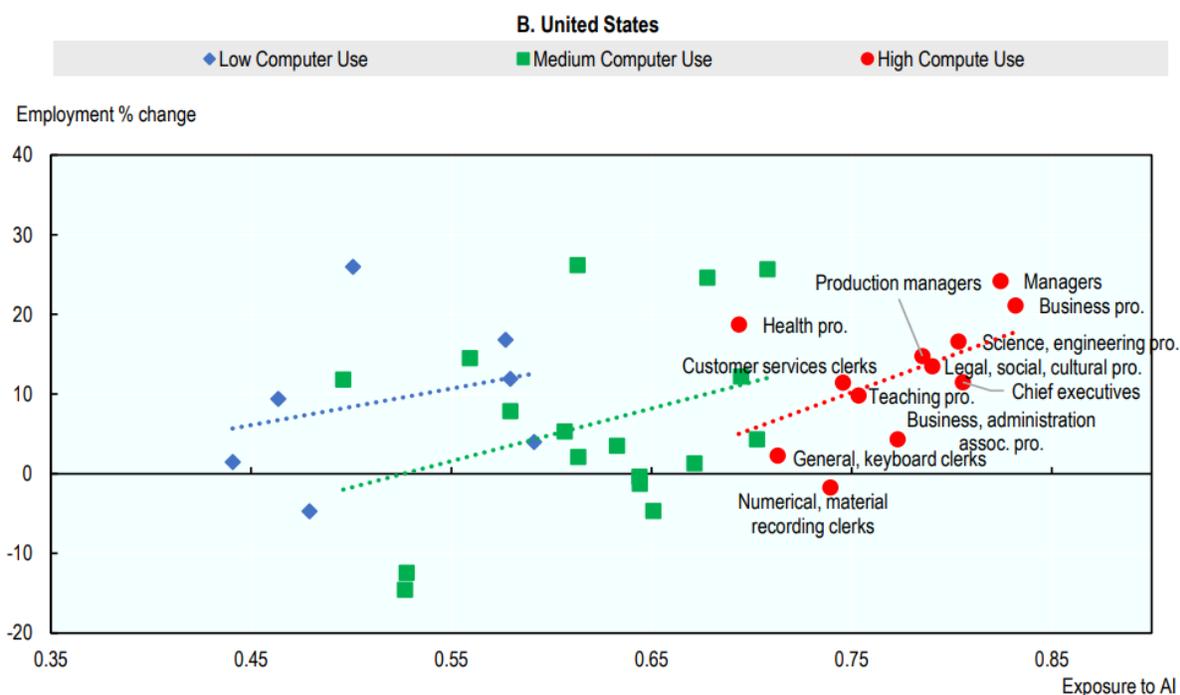


Figura 5 - Mudança percentual no nível de emprego (2012 a 2019) e exposição à IA (2012) nos Estados Unidos

Fonte: Georgieff e Hye (2021, p. 42)

3.3. Os mecanismos de compensação

Para além dos impactos diretos observados no emprego, alguns autores encontraram forças contrárias suficientes para contornar o desemprego tecnológico. Partindo do pressuposto que a

mudança tecnológica pode deslocar a mão-de-obra de duas formas – por meio do deslocamento de emprego, eliminando o emprego agregado, e/ou deslocamento da participação do trabalho, diminuindo a participação do trabalho no valor agregado na economia - Autor e Salomons (2018) desenvolveram um modelo que permite analisar empiricamente esses efeitos, utilizando dados entre países e entre indústrias. Ainda que empregue as taxas de crescimento da produtividade total dos fatores (PTF) como medida de análise e não analise especificamente os efeitos das novas tecnologias de automação (i.e. robótica avançada, IA e ML), o trabalho de Autor e Salomons (2018) é relevante pois considera o período de 1970 a 2007 e, portanto, a PTF contempla essas novas tecnologias.

De acordo com Autor e Salomons (2018, p.8), “a automação (conforme incorporada no crescimento da PTF) tem aumentado o emprego e, ao mesmo tempo, deslocado a participação da mão de obra nas últimas quatro décadas”. O efeito direto do aumento da produtividade nas indústrias, observada pelo aumento da PTF, é a redução da entrada de mão-de-obra nessas indústrias, diminuindo o emprego agregado. Entretanto, esse efeito é mais do que totalmente compensado por dois outros efeitos indiretos: primeiro, o aumento da produtividade gera aumento da demanda por trabalhadores nas indústrias fornecedoras e, segundo, o aumento da produtividade em cada setor contribui para o crescimento no valor real do produto agregado aumentando a demanda final e conseqüentemente estimulando a demanda por trabalhadores em todos os setores da economia. Por outro lado, o aumento da produtividade desloca diretamente a participação do trabalho nas indústrias onde se origina e esse efeito não é compensado por relações insumo-produto, mudanças de composição ou aumento da demanda final. Essa análise é consistente com o declínio observado na participação do trabalho iniciada nos anos 1980 e acelerada nos anos 2000 (AUTOR; SALOMONS, 2018, p. 8).

Acemoglu e Restrepo (2018a) desenvolveram um *framework* baseado em Acemoglu e Restrepo (2018b), Zeira (1998) e Acemoglu e Autor (2011) para identificar os efeitos da automação na dinâmica de empregos, tarefas e produtividade. Partindo da função de produção conhecida $F(AL, BK)^{12}$, Acemoglu e Restrepo (2018a, p.5) afirmam que a tecnologia é assumida como um fator de aumento e que pode aumentar L e K, como os parâmetros A e B fazem na função

¹² Onde L representa o emprego e K o capital empregado.

de produção. Entretanto, apesar de intuitivamente o parâmetro B representar uma *mudança tecnológica com aumento de capital*, esse tipo de mudança tecnológica não causa nenhum tipo de deslocamento. Além disso, a automação não é apenas o melhoramento de máquinas já existentes para aumento de produtividade, mas a inserção de novas tecnologias para executar tarefas que eram humanamente desempenhadas. De outra forma, a *mudança tecnológica com aumento de trabalho*, representada por um aumento em A, pode criar um tipo de deslocamento que pode ser contornado no longo prazo após o período de ajuste do capital. Dessa forma, Acemoglu e Restrepo (2018a, p.5) afirmam que “a automação não aumenta diretamente o trabalho; pelo contrário, transforma o processo de produção de uma forma que permite que mais tarefas sejam executadas por máquinas.”

Considerando as discussões anteriores sobre as diferentes abordagens, Acemoglu e Restrepo (2018a) conceitualizaram uma abordagem baseada em tarefas, em oposição às abordagens padrão baseadas em mudança tecnológica que melhoram a produtividade dos fatores. Nesse framework, os autores conceituam a automação como “uma expansão no conjunto de tarefas que podem ser produzidas com capital” (ACEMOGLU; RESTREPO, 2018a, p.5). Se o capital for suficientemente barato ou produtivo marginalmente, então a automação substituirá trabalhadores nessas tarefas, produzindo o que chamou-se de *efeito deslocamento*. Esse efeito pode causar uma redução na demanda por trabalhadores e na taxa salarial de equilíbrio que, considerando uma oferta de trabalho elástica, pode resultar em queda da participação do trabalho na renda nacional. De acordo com Acemoglu e Restrepo (2018a, p.9):

(...) automation necessarily makes the production process more capital intensive and tends to increase productivity more than the wage, as a consequence reducing the share of labor in national income. Intuitively, this is because it entails the substitution of capital for tasks previously performed by labor, thus squeezing labor into a narrower set of tasks.

Apesar da existência do *efeito deslocamento*, a automação nem sempre reduzirá a demanda por trabalhadores. Isso dependerá, segundo Acemoglu e Restrepo (2018a), de uma série de efeitos de compensação que poderão surgir decorrente da mudança tecnológica.

1. A substituição de mão-de-obra por máquinas cria um *efeito produtividade*, pois, como o capital empregado performa de maneira mais barata marginalmente, os

preços desses bens e serviços caem, aumentando a demanda por eles. Esse efeito pode se manifestar de duas formas complementares: aumentando a demanda por trabalhadores tanto nos próprios setores passando pela automação quando em outros setores, devido ao aumento da renda familiar decorrente da redução de preços dos produtos.

2. A automação corresponde a um aumento na intensidade de capital da produção. Esse aumento da demanda pelo capital gera um efeito de *acumulação de capital*, que posteriormente levará a um aquecimento da demanda por trabalhadores.
3. Um efeito de *aprofundamento da automação* surgirá se as novas tecnologias de automação aumentarem a produtividade em tarefas já substituídas por máquinas. Nesse caso, não ocorrerá um efeito de deslocamento mas o mesmo efeito produtividade pontuado anteriormente, que levará a um aumento da demanda por trabalhadores.
4. O principal efeito compensatório, entretanto, é decorrente da criação de novas tarefas intensivas em mão-de-obra. O chamado *efeito reintegração* atua como um gerador de demanda por trabalhadores que conseqüentemente aumenta a participação do trabalho na renda nacional. Ainda, a criação de novas tarefas não precisa necessariamente ser exógena ao processo de automação, uma vez que as tecnologias de IA, por exemplo, necessitam de pessoas que treinem, expliquem e monitorem a performance delas.

Resumidamente, de acordo com Acemoglu e Restrepo (2018a, p.12):

First, automation does create a potential negative impact on labor through the displacement effect and also by reducing the share of labor in national income. But second, it can be counterbalanced by the creation of new tasks (as well as the productivity effect, capital accumulation and the deepening of automation, which tend to increase the demand for labor, even though they do not generally restore the share of labor in national income to its pre-automation levels).

Essa dinâmica de forças é central para entender por que os impactos da automação observados não são de todo ruins. Contudo, após uma mudança tecnológica em direção à automação, a economia e o mercado de trabalho podem encarar alguns desafios para se

reajustarem, uma vez que a automação muda a natureza dos empregos e causa uma dispersão dos trabalhadores de empregos existentes para novas posições, em um processo complexo e lento (ACEMOGLU; RESTREPO, 2018a, p.12).

Acemoglu e Restrepo (2018b) analisaram a relação entre a automação de certas ocupações, tornando o trabalho redundante, e a criação de novas versões de tarefas onde o trabalho tem uma vantagem comparativa. Na versão estática do modelo criado, onde o capital é fixo e a tecnologia é exógena, os resultados indicam que a automação reduz o emprego e a participação do trabalho do produto agregado, enquanto a criação de novas tarefas produz um efeito contrário. No modelo dinâmico completo, onde a acumulação de capital é endógena, os dois tipos de mudança tecnológica (automação e criação de novas tarefas) avançam a taxas iguais. Dessa forma, uma onda de automação reduz o custo efetivo de produção com mão de obra, desencorajando novos esforços para automatizar tarefas adicionais e incentivando a criação de novas tarefas (ACEMOGLU; RESTREPO, 2018b, p.1491).

Autor (2015) se propõe a explicar as causas pelas quais a automação não eliminou a maior parte dos empregos nas últimas décadas e séculos. Afirma:

Automation does indeed substitute for labor—as it is typically intended to do. However, automation also complements labor, raises output in ways that lead to higher demand for labor, and interacts with adjustments in labor supply (AUTOR, 2015, p. 5).

As mudanças tecnológicas observadas foram capazes de alterar os tipos de empregos disponíveis e o salário pago a cada um, promovendo o que chamou-se de polarização¹³ do mercado de trabalho. Os trabalhadores que se encontram no meio da escala de habilidades foram os mais prejudicados, uma vez que as tarefas desempenhadas por eles foram mais suscetíveis à automação nas últimas décadas, em oposição aos trabalhadores no topo e na base da pirâmide. Entretanto, Autor (2015, p. 26) argumenta que essa polarização não deverá continuar indefinidamente, pois, embora algumas das tarefas dos empregos de qualificação média sejam suscetíveis à automação, muitos outros empregos nessa categoria continuarão a exigir uma mistura de tarefas diferentes no espectro de habilidade.

¹³ Esse fenômeno será abordado com detalhe no Capítulo 3.

Por outro lado, Autor (2015) enfatiza que os novos desenvolvimentos computacionais que permitiram a automação de tarefas complexas até então restritas aos seres humanos, como as que exigem julgamento e senso comum¹⁴, podem ser capazes de superar os limites até então encarados pelas máquinas. Entretanto, Autor (2015, p. 23) afirma não acreditar que o Paradoxo de Polanyi¹⁵ deva ser superado no curto prazo, pois não há evidências suficientes para acreditar que a vasta maioria das tarefas serão automatizadas nos próximos tempos, uma vez que as tecnologias substituem certas tarefas mas complementam outras que ainda deverão ser desempenhadas por humanos.

¹⁴ Autor (2015) referencia Frey e Osborne (2013, p. 24) para explicar como o *machine learning* tem influenciado nessa questão.

¹⁵ De acordo com Autor (2015, p.11), o Paradoxo de Polany é nomeado pelo economista e filósofo que em 1966 afirmou: “Nós sabemos mais do que podemos dizer.” Sendo assim, há uma série de tarefas em que a substituição por tecnologia é desafiadora pois são compreendidas somente dentro dos limites das capacidades humanas e nem os programadores conseguem enunciar as suas ‘regras’.

4. DESIGUALDADE NO MERCADO DE TRABALHO

Para além dos efeitos diretos observados no emprego, a automatização do trabalho intensificada pela robótica avançada, pela IA e pelo ML trouxe preocupações relacionadas ao aumento da desigualdade, envolvendo principalmente a polarização e a modernização no mercado de trabalho e a necessidade de novas habilidades capazes de tornar o trabalhador competitivo em relação às máquinas e/ou executar funções complementares à elas. O ponto de partida dessa investigação é a mudança estrutural na distribuição dos salários, com aumento dos salários dos trabalhadores com ensino superior mais bem qualificados, observado entre as décadas de 1970 e 1990, principalmente nos Estados Unidos, motivando uma análise da relação entre a mudança tecnológica e os salários (ACEMOGLU; RESTREPO, 2011, p. 1044).

A fim de identificar quais foram as mudanças observadas no comportamento da distribuição salarial e do emprego durante o processo de mudança tecnológica ocorrida principalmente durante a década de 1980 e quais foram as principais teorias desenvolvidas para explicar esse fenômeno, bem como as suas limitações, serão descritas aqui as duas hipóteses principais presentes na literatura: a mudança tecnológica com viés de habilidade (*skill-biased technological change* – SBTC) e a mudança tecnológica tendenciosa à rotina (*routine-biased technologic change* – RTBC).

4.1. Mudança tecnológica com viés de habilidade: o modelo canônico

A hipótese de que a mudança tecnológica possui um viés de habilidade parte do aumento observado do salário relativo dos trabalhadores com formação superior em relação aos trabalhadores apenas com ensino médio apesar do aumento da oferta de trabalhadores com formação superior, ou seja, concomitantemente ao aumento da oferta de habilidades houve também um aumento na demanda relativa por habilidade. Essa perspectiva permite enfatizar que o “prêmio” às habilidades é determinado por uma corrida entre o aumento da oferta de habilidades no mercado de trabalho e mudanças tecnológicas, que se supõe serem tendenciosas às habilidades, no sentido de que as melhorias na tecnologia naturalmente aumentam a demanda por mais trabalhadores qualificados, entre eles aqueles com formação superior (ACEMOGLU; RESTREPO, 2011, p. 1045).

Partindo do trabalho de Tinbergen (1974, 1975), o modelo canônico teorizado pela mudança tecnológica com viés de habilidade (*skill-biased technological change* – SBTC) tem como ideia central a visão de que as novas tecnologias são “viciadas em habilidades”, significando que num cenário de mudança tecnológica, os trabalhadores melhores qualificados são mais beneficiados do que os menos qualificados, sendo estes últimos capazes até de serem substituídos pelas novas tecnologias (SEBASTIAN; BIAGI, 2018, p. 8). De acordo com Acemoglu e Autor (2011, p.1101-1117), o modelo canônico é baseado em duas suposições principais. Em primeiro lugar, o grau de habilidade dos trabalhadores pode ser dividido em dois: alta e baixa. Ainda, não há distinção entre habilidades e tarefas (ou ocupações), ou seja, os tipos de trabalho podem ser classificados de acordo com o grau de qualificação dos trabalhadores que os desempenham, de modo que os trabalhadores altamente qualificados trabalham em ocupações diferentes dos trabalhadores de baixa qualificação. Em segundo lugar, o modelo canônico assume a tecnologia como exógena, o que significa que as formas que as inovações assumem não são influenciadas pela composição de habilidades da própria força de trabalho.

Sumarizando o modelo canônico da mudança tecnológica com viés de habilidades, Acemoglu e Autor (2011, p. 1117) identificam quatro pontos centrais para entender essa teoria:

1. Changes in the wage structure are linked to changes in factor-augmenting technologies and relative supplies;
2. Overall inequality rises in tandem with the skill premium (as within group inequality is either invariant when the skill premium changes or co-moves with the skill premium);
3. The economy-wide average wage and the real wage of each skill group should increase over time as a result of technological progress, particularly if the supply of high skill labor is increasing;
4. The rate and direction of technological change do not respond to the relative abundance or scarcity of skill groups.

Um dos trabalhos pioneiros acerca da mudança na estrutura salarial ocorrida entre 1960 e 1980 nos Estados Unidos é de autoria de Katz e Murphy (1992). De acordo com os autores, a desigualdade salarial cresceu substancialmente durante esse período, primeiramente, devido ao crescimento relativo do salário dos trabalhadores com formação superior, e em seguida, devido a um aumento no salário médio dos trabalhadores mais velhos em relação aos mais jovens para aqueles com nível de educação mais baixo. A combinação dessas duas mudanças gerou um aumento no salário dos jovens recém formados do sexo masculino a partir dos anos 1980 (KATZ; MURPHY, 1992, p. 35). Conforme a Figura 6, a razão entre os salários dos trabalhadores com

ensino superior e os salários dos trabalhadores com ensino médio para trabalhadores jovens caiu de 1,61 em 1969 para 1,44 em 1979 e depois aumentou acentuadamente para 1,82 em 1987.

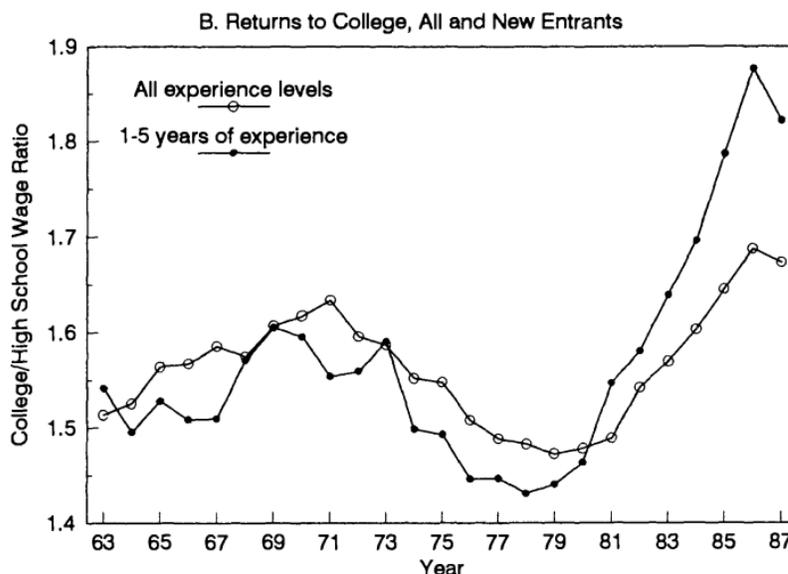


Figura 6 – Relação entre os salários dos trabalhadores graduados e trabalhadores com ensino médio

Fonte: Katz e Murphy (1992, p. 42)

A fim de identificar a causa desse movimento, Katz e Murphy (1992) aplicaram um modelo simples de oferta e demanda no qual trabalhadores de grupos demográficos diferentes (identificados por sexo, educação e experiência) são tratados como insumos de trabalho distintos, num período de 25 anos – de 1963 a 1987 – justificando a necessidade de analisar um período maior para identificar a capacidade das teorias de explicar esse comportamento específico. Assumindo que esses diferentes grupos demográficos são substitutos imperfeitos, as mudanças relativas nos salários são geradas por mudanças na oferta relativa e demanda relativa dos fatores. Partindo de uma função agregada de produção:

$$(1) X_t = D(W_t, Z_t)$$

Onde, X_t é o vetor $K \times I$ de insumos de mão-de-obra empregados no mercado no ano t , W_t é o vetor $K \times I$ de preços de mercado para esses insumos no ano t e Z_t é o vetor $K \times I$ de variáveis de deslocamento de demanda no ano t . Assumindo que a função agregada de produção é côncava, a equação pode ser escrita da forma:

$$(2) dX_t = D_w dW_t + D_z dZ_t$$

Onde, D_w é a matriz de efeitos de preços cruzados sobre demanda de fatores, semidefinida negativa, assumindo que mudanças na oferta de fatores (mudanças líquidas na demanda) e mudanças nos salários devem covariar negativamente. Nesse sentido, uma das hipóteses indicaria que mudanças salariais seriam geradas por mudanças da oferta relativa decorrentes de mudanças demográficas. Conforme Katz e Murphy (1992, p.47): “No caso de dois insumos, a implicação básica de uma demanda de fatores relativa estável é que um aumento na oferta relativa de um grupo deve levar a uma redução no salário relativo desse grupo.”

Dessa forma, a fim de testar essa hipótese no caso de uma demanda de fatores relativa estável, os autores avaliaram duas relações matemáticas para os anos de 1963 a 1987, entendendo que os períodos de tempo em que a desigualdade em (3) é satisfeita têm o potencial de serem explicados apenas por mudanças na oferta:

$$(3) (W_t - W_\tau)'(X_t - X_\tau) \leq 0$$

Por outro lado, quando essa desigualdade não é satisfeita, não é possível responsabilizar somente as mudanças na oferta pela mudança salarial. Nesse sentido, uma hipótese alternativa sobre deslocamentos de demanda relativa definida em (4) é necessária, calculando o produto interno da mudança salarial com as mudanças na oferta líquida (mudança real na oferta menos a mudança na demanda por X que teria ocorrido a preços fixos dos fatores):

$$(4) (W_t - W_\tau)'[(X_t - X_\tau) - (D(W_\tau, Z_t) - D(W_\tau, Z_\tau))] \leq 0$$

De acordo com os resultados encontrados pelos autores, o rápido crescimento secular na demanda relativa de trabalhadores mais qualificados deve ser visto como um componente-chave em qualquer explicação consistente para o aumento da desigualdade devido às mudanças na estrutura salarial nos últimos 25 anos. Embora grande parte dessa mudança na demanda relativa possa ser explicada por mudanças observadas na composição industrial e ocupacional do emprego em direção a setores relativamente intensivos em qualificação, a maioria reflete mudanças na demanda relativa de trabalho que ocorrem em setores específicos. Essas mudanças dentro dos setores provavelmente refletem mudanças tecnológicas com viés de habilidade (KATZ; MURPHY, 1992, p. 37).

Assim como Katz e Murphy (1992), Autor et al. (1998) argumentam que os estudos sobre a mudança tecnológica com viés de habilidade observado nas mudanças da estrutura salarial dos

Estados Unidos durante os anos 1970 e 1990 devem ter uma perspectiva de longo prazo. Sendo assim, partindo também de um modelo simples de oferta e demanda, os autores consideram os dados do mercado de trabalho estadunidense durante o período de 1940 a 1996.

A análise desenvolvida por Autor et al. (1998) sugere um forte crescimento secular da demanda relativa favorecendo trabalhadores altamente qualificados que persistiu entre 1970 e 1990. Ainda, o ritmo de atualização no nível de habilidades dos trabalhadores entre indústrias aumentou de 1960 a 1970 em toda a economia e acelerou ainda mais no setor manufatureiro de 1970 a 1980. Os indicadores do uso de computadores permitem identificar o uso mais alto em indústrias com taxas mais rápidas de atualização de habilidades. Dessa forma, é possível afirmar que as mudanças tecnológicas com viés de habilidade (que acompanharam a revolução do computador) parecem ter contribuído para um crescimento mais rápido na demanda relativa de habilidades a partir da década de 1970 (AUTOR et al., 1998, p. 1203).

Katz et al. (1995) argumentam que a simples análise de séries temporais unicamente dos Estados Unidos é insuficiente para identificar uma explicação para as mudanças na estrutura salarial. Por esse motivo, os autores defendem uma abordagem com dados de séries temporais de vários países, a fim de identificar se a explicação encontrada para os Estados Unidos em Katz e Murphy (1992) se aplica de forma mais abrangente. Para tanto, Katz et al. (1995) analisaram os dados de quatro países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), Estados Unidos, Inglaterra, Japão e França, identificando que, com exceção da França (que iniciou em 1984), todos os países analisados tiveram um aumento no diferencial salarial de trabalhadores mais qualificados a partir de 1980, assim como os Estados Unidos.

Contrapondo as mudanças tecnológicas ocorridas no século XIX em relação ao século XX, e como elas se relacionam com a distribuição de habilidade dos trabalhadores, Acemoglu (2000) identifica que enquanto as mudanças tecnológicas no século XIX foram substituidoras de habilidades (*skill-replacing*), uma vez que produtos antes fabricados por artesãos qualificados passaram a ser produzidos em fábricas por trabalhadores com relativamente poucas habilidades¹⁶, as mudanças tecnológicas do século XX são complementares às habilidades (*skill-complementing*). Goldin e Katz (1998, p. 3) observaram que a mudança do modo de produção de

¹⁶ Ver Goldin e Katz (1998, p.2)

fábrica para métodos de processo contínuo ou em lote (*continuous-process or batch methods*) podem ter originado uma complementariedade entre habilidades e a tecnologia já no início do século XX, entre 1909 e 1929.

Por meio de uma abordagem teórica na qual a desigualdade salarial é determinada por um modelo de oferta e demanda, Acemoglu (2000) se atém a responder duas questões principais:

1. Por que os avanços tecnológicos foram tendenciosos às habilidades no século XX?; e
2. As mudanças tecnológicas são a principal causa do recente aumento da desigualdade?

A fim de responder tais questionamentos, Acemoglu (2000, p. 4) identifica uma série de fatos observados na economia americana durante o período pós-guerra, entre eles o aumento da oferta de trabalhadores mais bem qualificados simultaneamente ao aumento dos salários dessa categoria de trabalhadores. Nesse sentido, o autor argumenta que as mudanças na estrutura salarial nos Estados Unidos foram tendenciosas à habilidade durante os últimos sessenta anos pelo fato de que “na ausência de um viés tendencioso às habilidades por parte das tecnologias implementadas, o grande aumento na oferta de trabalhadores qualificados teria diminuído o salário relativo dessa categoria” (ACEMOGLU, 2000, p. 4).

Com o intuito de identificar o mecanismo por trás da mesma movimentação – aumento da oferta de trabalhadores qualificados simultaneamente ao aumento dos salários dessa categoria – Krussel et al. (2000) desenvolveram uma análise utilizando uma função de produção agregada neoclássica em que a característica central da tecnologia é a complementaridade entre capital-habilidade (*capital-skill complementarity*). Essa característica parte da ideia de que a elasticidade de substituição entre bens de capital e mão-de-obra não-qualificada é maior do que entre bens de capital e mão-de-obra qualificada. Dessa forma, uma implicação da complementaridade entre capital-habilidade é que o crescimento no estoque de equipamentos aumenta o produto marginal da mão-de-obra qualificada, mas diminui o produto marginal da mão-de-obra não qualificada (KRUSSEL et al., 2000, p. 1030).

Em seus resultados, Krussel et al. (2000, p. 1040-1045) identificaram comportamentos consistentes com o trabalho de Katz e Murphy (1992) em relação aos componentes de quantidade relativa e de complementaridade entre capital-habilidade. Conforme a Figura 7, o componente de quantidade relativa teve um efeito negativo durante todo o período analisado e pode ter contribuído

para a queda no aumento dos salários dos trabalhadores mais bem qualificados durante a década de 1970¹⁷. Por outro lado, o componente complementaridade entre capital-habilidade, mostrado na Figura 8, aumentou durante todo o período, sendo o grande responsável pelo aumento do diferencial salarial favorecendo trabalhadores mais qualificados após 1980. De forma geral, o efeito de complementaridade capital-habilidade, que elevou o diferencial salarial dos trabalhadores mais qualificados em cerca de 60% em toda a amostra, domina o efeito da quantidade relativa, que reduziu o prêmio em cerca de 40% (KRUSSEL et al., 2000, p. 1045).

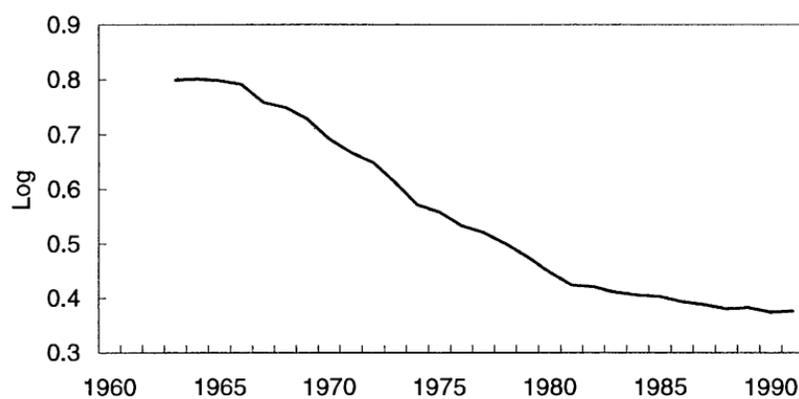


Figure 9. The relative quantity effect.

Figura 7 – Efeito da quantidade relativa

Fonte: Krussel et al. (2000, p. 1044)

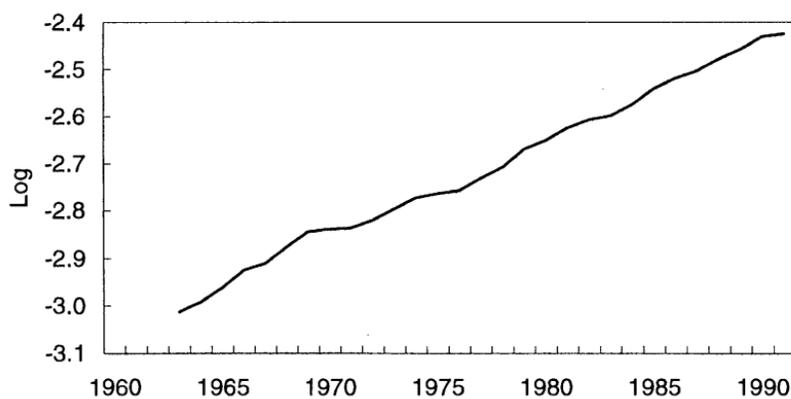


Figure 10. The capital-skill complementarity effect.

Figura 8 – Efeito de complementaridade capital-habilidade

Fonte: Krussel et al. (2000, p. 1044)

¹⁷ Ver figura 6.

Conforme apresentado até agora, a hipótese do SBTC tem como suporte as evidências observadas na mudança na distribuição da estrutura salarial dos trabalhadores entre 1970 e 1990 nos Estados Unidos. De acordo com essa hipótese, a mudança tecnológica ocorrida nesse período por meio da introdução de novas tecnologias como computadores, linguagens de programação e ferramentas para cálculos em planilhas possuem intrinsecamente uma preferência por habilidade. Dessa forma, as tecnologias desenvolvidas durante o período de advento do computador seriam complementares – e não substituidoras - às habilidades.

Pouco se sabe, entretanto, sobre o comportamento das novas tecnologias de automação desenvolvidas a partir dos anos 1990 em relação às habilidades. A mudança tecnológica decorrente dos adventos em automação, como a robótica avançada, a IA e o ML, tornaram possível substituir inteiramente o fator de produção de trabalho pouco qualificado. A grande diferença entre a automação e as mudanças tecnológicas do SBTC é que a automação não aumenta a produtividade marginal do trabalho, mas torna o trabalho inteiramente obsoleto para determinadas tarefas. Além disso, em comparação com o capital físico na forma de máquinas e linhas de montagem, um aumento no estoque de capital em forma de automação não implica em uma maior demanda por trabalhadores¹⁸. Nesse sentido, o aprofundamento do capital, que é visto como um impulsionador do aumento dos salários no padrão de modelos macroeconômicos, pode levar a uma substituição de mão de obra e a salários mais baixos na era da automação (LANKISCH et al., 2019, p. 162).

A fim de analisar a distribuição salarial na era da automação, Lankisch et al. (2019) incorporaram a automação como um novo fator de produção em um modelo simples de acumulação de capital com trabalhadores pouco qualificados e altamente qualificados. Os resultados encontrados pelos autores permitem afirmar que a automação gera uma diferença entre os salários dos trabalhadores altamente qualificados e dos trabalhadores pouco qualificados e, assim, aumenta a desigualdade salarial. Além disso, o modelo aplicado pelos autores pode explicar a redução nos salários reais de trabalhadores pouco qualificados observada nas últimas décadas nos Estados Unidos (LANKISCH et al., 2019, p. 167).

É inegável que a hipótese do SBTC tenha ganhado destaque na explicação da desigualdade salarial observada entre 1970 e 1990. Entretanto, outros fatores podem ter contribuído para esse

¹⁸ Ainda que a firma invista em máquinas e linhas de montagem, será necessário contratar trabalhadores para operar essas novas ferramentas.

fenômeno, entre eles o declínio do valor real do salário mínimo, a dessindicalização e a globalização. De acordo com Acemoglu (2002), esses outros fatores podem ter desempenhado um papel importante no aumento da demanda por trabalhadores qualificados e da desigualdade. O aumento da globalização e do comércio entre países mais e menos avançados contribuiu para o aumento do preço dos produtos intensivos em habilidade (devido ao aumento da demanda por esses produtos), incentivando, por consequência, a introdução de mais tecnologias com viés de habilidade. Dessa forma, o comércio internacional e a globalização podem ter induzido ainda mais o SBTC e a desigualdade salarial.

O modelo canônico aplicado empiricamente aos dados enfatizando um aumento na demanda relativa por trabalhadores com ensino superior combinado com flutuações na oferta de trabalhadores mais e menos qualificados, conforme afirmam Acemoglu e Autor (2011, p.1117-1118), ajuda a explicar alguns padrões na desigualdade observada entre trabalhadores nos Estados Unidos entre a década de 1970 e 1990, evidenciada pelo aumento no *gap* salarial entre trabalhadores com e sem ensino superior durante esse período. Por outro lado, os autores identificam duas deficiências principais em relação ao modelo canônico. Em primeiro lugar, esse modelo não inclui um papel significativo para as “tarefas”, não estabelecendo uma distinção entre a conceituação de habilidades e tarefas. Essa distinção torna-se relevante quando trabalhadores de um determinado nível de habilidade podem realizar uma variedade de tarefas e alterar a dinâmica de trabalho que executam em resposta a mudanças nas condições do mercado de trabalho e na tecnologia. Em segundo lugar, o modelo trata a tecnologia como exógena, assumindo que a mudança tecnológica é, por natureza, tendenciosa à habilidade.

Dessa forma, contrapondo-se às evidências observadas, o modelo apresenta algumas limitações ao não explicar outras tendências. A principal delas diz respeito à polarização do emprego e dos salários: como o modelo não faz distinção entre habilidades, ele não fornece explicações sobre as mudanças observadas na composição de emprego por ocupação nos Estados Unidos e em outras economias avançadas – em particular, o crescimento desproporcional do emprego tanto na educação superior, nas ocupações com altos salários e, simultaneamente, na baixa educação e nas ocupações de serviços com baixos salários (polarização do emprego). Ainda, não leva em conta as mudanças nos diferenciais de desigualdade em relação à distribuição de habilidades durante diferentes períodos – observado através do crescimento do *gap* salarial dos

trabalhadores no topo e na base da pirâmide salarial em relação aos salários do meio (polarização dos salários). Conforme afirmam Acemoglu e Autor (2011, p.1069):

This polarization is made more noteworthy by the fact that the return to skill, measured by the college/high school wage premium, rose monotonically throughout this period, as did inequality above the median of the wage distribution. These discrepancies between the monotone rise of skill prices and the non-monotone evolution of inequality again underscore the potential utility of a richer model of wage determination.

4.2. Mudança tecnológica tendenciosa à rotina: um olhar para as tarefas

As limitações apresentadas pelo modelo canônico do SBTC estimularam o desenvolvimento de novas versões teóricas capazes de suprir essas limitações. Conforme exposto anteriormente, a não inclusão de tarefas como medida de análise e a suposição da mudança tecnológica como endógena impediram o modelo SBTC de explicar a polarização observada no mercado de trabalho estadunidense a partir década de 1980, evidenciada através do crescimento dos salários altos e baixos em detrimento dos medianos.

De acordo com Sebastian e Biagi (2018), uma versão mais refinada do SBTC foi apresentada para explicar as mudanças na estrutura de emprego, com foco no impacto da informatização nas diferentes tarefas desempenhadas pelos trabalhadores no trabalho. A grande mudança caracterizada nesse novo modelo é de que, enquanto o trabalho e o capital permanecem como os fatores de produção, a função de produção é expressa em termos de tarefas, permitindo que algumas dessas tarefas – amplamente definidas como rotineiras e historicamente alocadas a trabalhadores de baixa e média qualificação – após a mudança tecnológica podem agora ser alocadas ao capital. Essa hipótese ficou conhecida como mudança tecnológica tendenciosa à rotina (*routine-biased technologic change – RTBC*).

Uma vez que a hipótese RBTC é caracterizada em termos de tarefas, estas são alocadas aos trabalhadores ou às máquinas a depender de uma série de fatores, entre eles o grau com que elas são automatizáveis, a separação entre outras tarefas e o custo relativo de usar máquinas em vez de mão-de-obra (SEBASTIAN; BIAGI, 2018, p. 10). Dessa forma, de acordo com Acemoglu e Autor (2011, p.1045), uma tarefa é definida como uma “unidade de atividade de trabalho que produz (bens e serviços)”, enquanto uma habilidade é uma “dotação de capacidades do trabalhador para realizar várias tarefas”. Autor et al. (2003) classificaram as atividades como rotineiras e não-

rotineiras, cognitivas ou manuais, conforme a Figura 9. As atividades rotineiras manuais são altamente automatizáveis enquanto as atividades rotineiras cognitivas são parcialmente automatizáveis (a revolução do computador permitiu que muitas delas fossem desempenhadas por computadores); por outro lado, as atividades não-rotineiras manuais, assim como as atividades não-rotineiras cognitivas, são mais difíceis de automatizar pois requerem proximidade física direta ou comunicação interpessoal flexível ¹⁹.

PREDICTIONS OF TASK MODEL FOR THE IMPACT OF COMPUTERIZATION ON FOUR CATEGORIES OF WORKPLACE TASKS		
	Routine tasks	Nonroutine tasks
Analytic and interactive tasks		
Examples	<ul style="list-style-type: none"> • Record-keeping • Calculation • Repetitive customer service (e.g., bank teller) 	<ul style="list-style-type: none"> • Forming/testing hypotheses • Medical diagnosis • Legal writing • Persuading/selling • Managing others
Computer impact	• Substantial substitution	• Strong complementarities
Manual tasks		
Examples	<ul style="list-style-type: none"> • Picking or sorting • Repetitive assembly 	<ul style="list-style-type: none"> • Janitorial services • Truck driving
Computer impact	• Substantial substitution	• Limited opportunities for substitution or complementarity

Figura 9 – Categorização das tarefas no mercado de trabalho

Fonte: Autor et al. (2003, p. 1286)

Ainda que o SBTC revele a correlação entre a mudança tecnológica e o favorecimento de trabalhadores mais bem qualificados, o modelo canônico falha em explicar a causa por trás dessa correlação. Nesse sentido, Autor et al. (2003) se propõem a responder à questão de “o que é que computadores fazem – ou o que as pessoas fazem com computadores – que faz com que trabalhadores instruídos sejam relativamente mais procurados” (AUTOR et al., 2003, p. 1280). O trabalho está entre os percursos do modelo RBTC e parte de uma série de observações sobre as

¹⁹ Exemplos dessas atividades, de acordo com Sebastian e Biagi (2018), podem ser descritos como: montadores e operadores de máquinas (atividades rotineiras manuais), telefonistas e caixas de banco (atividades rotineiras cognitivas), juízes, psicólogos, advogados e médicos (atividades não-rotineiras cognitivas) e motoristas de ônibus, marceneiros e encanadores (atividades não-rotineiras manuais).

atividades desempenhadas pelos computadores e como essas atividades podem ser complementares ou substituidoras das habilidades humanas. Resumidamente, os computadores podem substituir trabalhadores em tarefas rotineiras e complementar trabalhadores em tarefas não-rotineiras.

O modelo desenvolvido por Autor et al. (2003) parte de 3 pressupostos: (1) o capital computacional é mais substituível pelo trabalho humano na realização de tarefas rotineiras do que tarefas não-rotineiras; (2) as tarefas rotineiras e não-rotineiras são substitutas imperfeitas; e (3) maior intensidade de insumos de atividades rotineiras aumenta a produtividade marginal de insumos de atividades não-rotineiras. A partir disso, Autor et al. (2003) desenvolveram um modelo econômico para prever como a demanda por tarefas responde a um declínio econômico no preço do capital computacional, partindo de uma função Cobb-Douglas:

$$(1) Q = (L_R + C)^{1-\beta} L_N^\beta, \beta \in (0,1)$$

Onde, Q é o produto, L_R e L_N são insumos de trabalho rotineiros e não-rotineiros, respectivamente, e C é o capital computacional. O capital computacional é fornecido de forma perfeitamente elástica ao preço de mercado ρ por unidade de eficiência, onde ρ está caindo exogenamente com o tempo devido aos avanços técnicos. Ainda, conforme o pressuposto (3), as tarefas rotineiras e não rotineiras são q -complementos, ou seja, a produtividade marginal de tarefas não-rotineiras aumenta com a quantidade de insumos de tarefas rotineiras²⁰. Assim, um declínio exógeno no preço do capital computacional aumenta a produtividade marginal de tarefas não-rotineiras. Isso ocorre pois, ainda que o insumo de trabalho rotineiro diminua devido à substituição pelo capital computacional, essa entrada de capital mais do que compensa a queda, gerando um aumento líquido na intensidade de insumos de atividades rotineiras. Essa dinâmica faz com que os trabalhadores realoquem a oferta de trabalho de tarefas rotineiras para tarefas não-rotineiras.

Sendo assim, as previsões do modelo indicam que indústrias com muitos trabalhadores em tarefas rotineiras farão investimentos relativamente maiores em capital computacional à medida que o preço deste cai. Uma vez que o capital computacional substitui esses trabalhadores, reduzindo o uso dessa mão-de-obra, essas indústrias aumentarão a demanda por trabalhadores que desempenham tarefas não-rotineiras, complementares ao capital computacional. Dessa forma, essa

²⁰ Conforme Autor et al. (2003, p. 1287): $\partial^2 Q / \partial L_N \partial (L_R + C) = \beta(1 - \beta) L_N^{\beta-1} / (L_R + C)^\beta > 0$.

dinâmica de forças aumentará a demanda por trabalhadores altamente qualificados, que detêm vantagem comparativa em tarefas não-rotineiras em oposição às tarefas rotineiras (AUTOR et al., 2003, p. 1281-1282).

Para testar essas hipóteses empiricamente, Autor et al. (2003, p. 1321) analisaram dados representativos do mercado de trabalho dos Estados Unidos para os anos de 1960 a 1998. Os autores identificaram que o uso de computadores está associado à redução do emprego em tarefas manuais e cognitivas rotineiras e aumento do emprego em tarefas cognitivas não-rotineiras. Nesse sentido, traduzindo em termos de demanda por nível educacional, o modelo é capaz de explicar 60% da mudança de demanda relativa estimada favorecendo trabalhadores com ensino superior durante 1970 e 1998.

Partindo da hipótese descrita por Autor et al. (2003), Goos e Manning (2003) avaliaram a polarização do mercado de trabalho ocorrida entre 1975 e 1999 na Grã-Bretanha. Conforme a Figura 10, os autores identificaram um aumento maior na participação do emprego dos dois primeiros decis e um aumento relativamente menor dos dois decis inferiores²¹, em detrimento de uma queda significativa dos trabalhos com salários medianos. Isso demonstra o processo de polarização ocorrida, uma vez que a participação do emprego dos grupos nas duas pontas da base salarial cresceu.

²¹ Conforme Goos e Mannin (2003, p. 9), cada decil de qualidade do trabalho representa um agrupamento de 10% das ocupações com “base em seu salário médio e tamanho da célula em 1979. Por exemplo, o pior decil de qualidade do trabalho captura 10% de todos os trabalhadores empregados nas ocupações mais mal pagas.”

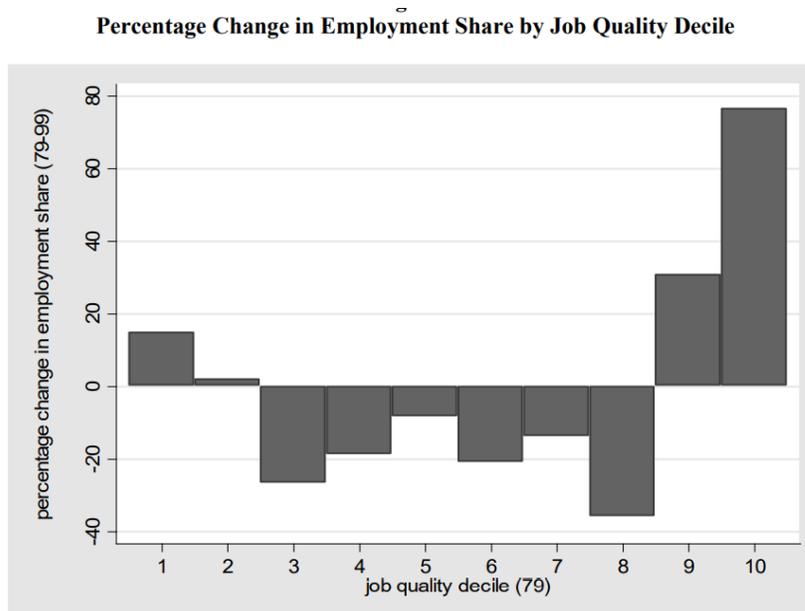


Figura 10 – Mudança percentual na participação do trabalho de acordo com cada decil de qualidade do trabalho (1979-1999)

Fonte: Goos e Manning (2003, p.43)

A explicação para esse comportamento de polarização tem como tese o trabalho de Autor et al. (2003), porém Goos e Manning (2003, p. 5-6) vão além, descrevendo que:

The central idea is that non-routine manual jobs are concentrated in the lower percentiles of the wage distribution whereas non-routine cognitive and interactive jobs are concentrated in the 6 top end of the wage range with routine jobs concentrated in the middle. As a result, technological progress can be expected to result in job polarization with employment growth in lovely and lousy jobs and employment falls in ‘middling’ jobs.

Com base no modelo de Goos e Manning (2003), Autor et al. (2006) avaliam o processo de polarização no mercado de trabalho dos Estados Unidos entre 1973 e 2004. Conforme a Figura 11, entre 1973 e 1988, observa-se um comportamento linear de aumento da desigualdade entre os salários dos trabalhadores da metade superior e inferior da distribuição salarial. Entretanto, a partir de 1988, há uma divergência entre as desigualdades das duas pontas da distribuição salarial, com um aumento e uma contínua expansão da desigualdade na metade superior simultaneamente a uma contração da desigualdade salarial da metade inferior, em relação aos empregos do meio (AUTOR et al., 2006, p. 190).

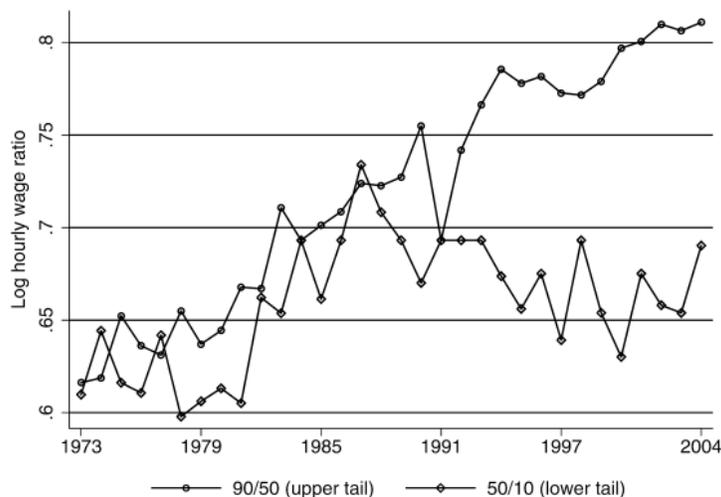


Figura 11- Diferenciais de salário por hora para a metade superior 90/50 e inferior 50/10 da pirâmide salarial (1973-2004)

Fonte: Autor et al. (2006, p.190)

De acordo com Autor et al. (2006, p. 190), esse comportamento de polarização dos salários deve ser acompanhado de uma polarização no nível de emprego. Assim como ocorrido na Grã-Bretanha, Autor et al. (2006, p. 191) identificaram um aumento do emprego a partir dos anos 1990 em empregos intensivos em tarefas cognitivas não-rotineiras (mais complementares aos computadores e com salários altos), uma diminuição a uma taxa crescente dos empregos intensivos em tarefas cognitivas e manuais rotineiras (mais suscetíveis à substituição) e uma pausa no comportamento de queda em empregos intensivos em tarefas manuais rotineiras (geralmente de baixos salários). Dessa forma, os autores argumentam que “as mudanças de quantidade e preço variam positivamente ao longo da distribuição de ganhos tanto na década de 1980, quando a estrutura de distribuição salarial estava se comportando linearmente, quanto na década de 1990, quando era polarizada” (AUTOR et al., 2006, p. 193).

Goos et al. (2014) estenderam a análise do RBTC para 16 países da Europa e avaliaram a polarização do emprego ocorrida entre 1993 e 2010. Os autores identificaram que a estrutura do emprego durante esse período foi polarizada, com o aumento da participação de emprego para profissionais e gerentes bem pagos, bem como para trabalhadores de serviços pessoais mal pagos (intensivos em tarefas não-rotineiras) e a queda da participação de emprego de trabalhadores de manufatura e de escritório (intensivos em tarefas rotineiras) (GOOS et al., 2014, p.12).

A partir do modelo elaborado em Acemoglu e Autor (2011), Acemoglu (2020) desenvolveu uma versão mais “flexível” para abordar como as tarefas podem ser incluídas para analisar o impacto das mudanças tecnológicas no emprego. A abordagem indicada por Acemoglu (2020, p. 3) tem como ideia central a alocação de tarefas a diferentes fatores de produção (trabalho qualificado, trabalho não qualificado e capital) e a mudança no conteúdo das tarefas pela introdução de novas tecnologias que afetam a produtividade de fatores em tarefas específicas, como a automação. Parte importante do trabalho de Acemoglu (2020) é introdução da automação – utilizando a classificação de robôs industriais feita em Acemoglu e Restrepo (2017) – como fator de produção capaz de substituir trabalhadores ao mesmo tempo que pode criar novas tarefas que realocam os trabalhadores de volta no processo produtivo.

Utilizando dados do mercado de trabalho estadunidense entre 1947 e 2016, Acemoglu (2020, p. 8) identificou que a substituição de trabalhadores pela automação estava associada a aumentos significativos da demanda por trabalhadores mais qualificados antes e depois de 1987, enquanto o efeito de reintegração promovido pela criação de novas tarefas reduziu a demanda por trabalhadores qualificados antes de 1987 (provavelmente porque os trabalhadores pouco qualificados tinham uma vantagem comparativa na maior parte das tarefas criadas nesse período) mas gerou uma maior demanda por essa categoria após 1987. Resumidamente, Acemoglu (2020, p. 8) afirma:

We also document that proxies for automation and the introduction of new tasks are robustly associated with changes in the relative demand for skills at the industry level. This perspective further suggests that a primary reason for the increase in the skill premium (and the decline in the real wages of less skilled workers) has been rapid automation that has replaced tasks previously performed by less skilled workers.

Diante do que foi apresentado, constata-se a importância histórica de ambas as hipóteses do SBTC e RBTC para explicar a mudança na estrutura do emprego ocorrida durante a década de 1970 a 1990 nas principais economias avançadas. Por um lado, ainda que a SBTC não consiga explicar a causa por trás do comportamento observado, pode-se dizer que o surgimento da hipótese do RBTC só foi possível devido às limitações do modelo SBTC.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É evidente que as mudanças tecnológicas ocorridas ao longo da história alteraram a organização do mercado trabalho. As novas tecnologias de automação, entretanto, têm conferido um caráter diferente das tecnologias existentes até então. Enquanto o computador, por exemplo, exige a sua operação por um trabalhador, essas novas tecnologias tornam o trabalhador desnecessário, uma vez que são capazes de desempenhar tarefas de forma autônoma, representando potencial maior de ameaça aos empregos. Considerando esse cenário, este trabalho teve como objetivo sistematizar as principais evidências observadas empiricamente dos impactos das novas tecnologias de automação, principalmente a robótica avançada, a IA e o ML, em termos de destruição e deslocamento de funções e a participação do trabalho no produto agregado. Ainda, identificar como a introdução dessas novas tecnologias pode contribuir para o fenômeno da polarização do mercado de trabalho, identificada pelas hipóteses do SBTC e RBTC.

Para atingir tal objetivo, o trabalho dividiu-se em três capítulos. No primeiro, buscou-se fazer uma revisão histórica de como as mudanças tecnológicas foram percebidas pelos estudiosos de cada época e como foram de fato as consequências observadas no mercado de trabalho. O segundo capítulo consistiu em apresentar, através de parte da literatura existente, as evidências observadas até agora do impacto da automação recente no mercado de trabalho. Por fim, o terceiro capítulo procurou apresentar as duas hipóteses existentes na literatura sobre a relação da automação com a desigualdade de renda.

Historicamente, os economistas apresentaram pontos de vistas divergentes perante as mudanças tecnológicas. Entretanto, prevalecia a ideia de que as novas tecnologias trariam mais consequências positivas do que negativas para os trabalhadores, revelando uma visão otimista de longo prazo. Durante a Revolução Industrial, David Ricardo, Alfred Marshall, John Stuart Mill e John-Baptiste Say concordavam que a mecanização das fábricas teria um saldo positivo no longo prazo. Uma das teorias representativas do pensamento desses economistas é a Teoria da Compensação, segundo a qual a introdução de máquinas em determinada indústria deslocaria capital para outras, fazendo com que os trabalhadores desempregados na indústria automatizada fossem demandados em outros setores.

Apesar de a grande preocupação dos luditas não ter se confirmado por completo, no curto prazo os operários viram suas funções serem substituídas por máquinas e seus salários caírem. Contudo, no longo prazo, a mecanização ocorrida na Revolução Industrial promoveu o aumento da produtividade nesses setores específicos, aumentando a demanda por insumos desses setores, e também a criação de outras atividades complementares aos bens de capital introduzidos, uma vez que com o aumento da produtividade, os donos de manufaturas agora mais ricos passaram a demandar outros serviços. Essa dinâmica promoveu a demanda por mais trabalhadores capazes de desempenhar tais funções, demonstrando a aplicabilidade da Teoria da Compensação.

O início do século XX foi marcado por uma continuidade do pensamento otimista apresentado pelos economistas no século imediatamente anterior. Entretanto, com a crise de 1929, os medos insurgentes sobre o futuro do trabalho voltaram a emergir no debate econômico, identificado através da criação do termo “desemprego tecnológico”, cunhado por Wesley Mitchell e John Maynard Keynes. Diante desse cenário, outros economistas, como Harry Jerome, Frederick Mills e Frederick Morty desenvolveram estudos empíricos que identificaram que, enquanto a produtividade cresceu, o emprego nas manufaturas caiu nesse período.

Após a Segunda Guerra Mundial, tecnologias de automação mais refinadas começaram a surgir. O advento do computador, considerada uma das principais inovações do século XX, foi responsável pelo alto deslocamento de emprego nessa época: enquanto diversas funções passaram a ser desnecessárias, muitas outras complementares ao computador surgiram. O resultado desse fluxo de empregos resultou em uma criação líquida de 15,8 milhões de empregos desde 1970 (MANYIKA et al, 2017, p. 40). Ainda, foi a partir dessa época que o fenômeno da desigualdade salarial entre trabalhadores com diferentes níveis de qualificação se intensificou, revelando o que posteriormente seria identificado como viés de habilidade por parte das tecnologias como o computador.

Embora as mudanças tecnológicas ocorridas até 1990 tenham deslocado milhões de empregos e destruído tantos outros, as tecnologias desenvolvidas até então não implicavam na substituição completa do trabalhador. Entretanto, com o advento da robótica avançada, da IA e do ML no início dos anos 1990, uma nova mudança tecnológica se configura, na qual as tecnologias são capazes de desempenhar funções sem qualquer auxílio humano e ao mesmo tempo aprender autonomamente a melhorar nelas. Essas novas tecnologias de automação têm um potencial de

impacto maior no futuro do mercado de trabalho devido a suas capacidades de substituição de trabalhadores.

A fim de medir tal potencial do impacto da automação do mercado de trabalho, diversos autores tem recentemente buscado estimar empiricamente a probabilidade de automação dos empregos. Com base nos trabalhos analisados no segundo capítulo do presente trabalho, os estudos podem ser categorizados em duas abordagens diferentes: baseada em ocupações, prevendo a automação de ocupações como um todo, e outra baseada em tarefas, quebrando as ocupações por tarefas e medindo a probabilidade de automação dessas tarefas. De acordo com a primeira abordagem, os resultados encontrados variam de um potencial de automatização de 47% do total de empregos nos Estados Unidos (FREY; OSBORNE, 2013) e 54% na União Europeia (BOWLES, 2014). Por outro lado, de acordo com a segunda abordagem, os resultados indicam um potencial menor de trabalhadores em ocupações suscetíveis à automatização, 9% para os Estados Unidos, 12% para a Áustria e 6% para a Coreia do Sul (ARNTZ et al., 2016) e ainda 15% das atividades de trabalho poderão ser automatizadas até 2030 (MANYIKA et al., 2017).

Considerando especificamente o impacto de robôs industriais e IA por meio de uma abordagem baseada em tarefas, os resultados encontrados indicam que a inserção de um robô por mil habitantes reduz o emprego em 0,37 ponto percentual nos Estados Unidos (ACEMOGLU; RESTREPO, 2017) e entre 0,16-0,20 na União Europeia (CHIACCHIO et al., 2018). Especificamente na Alemanha, os resultados encontrados se aproximam de zero, indicando que não há um efeito direto de robôs industriais no emprego total (DAUTH et al., 2017). Em relação à IA, os resultados não indicam uma relação clara entre a exposição à IA e o aumento do emprego, mas é possível identificar uma correlação forte em empregos com alto uso de computadores (GEROGIEFF; HYEE, 2021).

Por outro lado, foram encontrados mecanismos de compensação capazes de frear o impacto dessas novas tecnologias de automação. Enquanto a automação pode gerar um *efeito de deslocamento*, uma vez que aumenta a produtividade e conseqüentemente diminui a demanda por trabalhadores e a participação do trabalho no produto total, a introdução dessas novas tecnologias pode gerar um *efeito produtividade* (barateando o preço de bens e serviços e aumentando a demanda por eles) (ACEMOGLU; RESTREPO, 2018[a][b]; AUTOR; SALOMONS, 2018), um *efeito acumulação de capital* (gerado pelo aumento na intensidade de capital de produção) um

efeito aprofundamento da produção (quando as novas tecnologias são capazes de aumentar a produtividade em tarefas já substituídas por máquinas) e um *efeito reintegração* (pela criação de novas tarefas intensivas em mão-de-obra). Todos esses efeitos compensatórios atuam como uma força contrária, aumentando a demanda por trabalhadores, e explicam porque a automação não tem sido capaz de diminuir o nível de emprego profundamente, ainda que tenha diminuído a participação do trabalho no produto agregado.

Para além dos impactos diretos observados no emprego, também observou-se que a automação tem efeitos na distribuição salarial e de empregos, alterando a estrutura do emprego de acordo com o grau de habilidade. Este fenômeno foi observado principalmente nos Estados Unidos durante as décadas de 1970 e 1980, com o aumento dos salários dos trabalhadores com ensino superior mais bem qualificados relativamente ao menos qualificados, e, após 1980, com o aumento simultâneo do emprego e dos salários nas ocupações com altos salários e maior nível de habilidade e ocupações com baixos salários e baixo nível de habilidade, relativamente às ocupações do meio, chamado de polarização. Nesse sentido, duas hipóteses para explicar tais fenômenos foram desenvolvidas.

O modelo canônico teorizado pela mudança tecnológica com viés de habilidade (SBTC) foi o precursor para explicar o comportamento da mudança na estrutura salarial entre 1970 e 1980, argumentando que as novas tecnologias são “viciadas em habilidades”, sendo os trabalhadores melhores qualificados mais beneficiados (KATZ; MURPHY, 1992; AUTOR et al., 1998; KATZ et al., 1995; GOLDIN; KATZ, 1998; KRUSSEL et al., 2000; LANKISCH et al., 2019). Por outro lado, devido às limitações para explicar outros comportamentos observados após 1980, um modelo baseado em tarefas teorizado pela mudança tecnológica tendenciosa à rotina (RTBC) foi desenvolvido, tendo como ideia central o fato de que a automação pode permitir que algumas tarefas – amplamente definidas como rotineiras e historicamente alocadas a trabalhadores de baixa e média qualificação – após a mudança tecnológica podem agora ser alocadas ao capital (ACEMOGLU; AUTOR, 2011; AUTOR et al., 2003; GOOS; MANNING, 2003; AUTOR et al., 2006; GOOS et al., 2014; ACEMOGLU, 2020).

A literatura existente até então acerca dos impactos da automação recente no mercado de trabalho permite afirmar que essa mudança tecnológica – principalmente através da robótica avançada, IA e ML - já vem alterando a estrutura do mercado de trabalho e possui potencial ainda

maior de impactar futuramente. Esses impactos são transmitidos, conforme apresentado, através da destruição e deslocamento de empregos e/ou ocupações, da participação do trabalho no produto agregado e da mudança na distribuição salarial e de empregos, evidenciando a desigualdade de renda. O grande desafio parece estar, entretanto, em identificar quais os métodos que permitam estimar corretamente quais empregos ou tarefas desaparecerão ou serão transformados e quais hipóteses são capazes de explicar as mudanças na distribuição salarial e de empregos.

Ainda que o presente trabalho tenha concentrado a análise em países onde a automação já se encontra em níveis mais avançados, observa-se uma carência de estudos que busquem analisar tais impactos em países em desenvolvimento, onde a automação caminha a passos mais lentos. Além do impacto direto que a automação pode gerar nestes países, também é importante considerar os efeitos transmitidos a estes países pela automação nos países avançados. Espera-se que estudos futuros busquem endereçar tais questões também para países em desenvolvimento, uma vez que suas configurações econômicas e histórico-institucionais são tão distintas dos países avançados e, portanto, podem determinar um impacto diferente do observado até agora.

REFERÊNCIAS

ACEMOGLU, Daron. **Harms of AI**. National Bureau of Economic Research. Working Paper 29247, Cambridge, 2021. Disponível em:

https://www.nber.org/system/files/working_papers/w29247/w29247.pdf

ACEMOGLU, Daron. **Technical Change, Inequality, and the Labor Market**. Journal of Economic Literature, vol. 40, no. 1, pp. 7–72, 2000. Disponível em:

<https://www.nber.org/papers/w7800>

ACEMOGLU, Daron. **Technology and Inequality**. Journal of Economic Literature, 40, 2002. Disponível em: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/0022051026976>

ACEMOGLU, Daron; AUTOR, David. Skills, tasks and technologies: Implications for employment and earnings. **National Bureau of Economic Research**, Working Paper 16082, 2011. Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w16082>

ACEMOGLU, Daron; RESTREPO, Pascual. Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets. **National Bureau of Economic Research**, Working Paper 23285, 2017. Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w23285>

ACEMOGLU, Daron; RESTREPO, Pascual. Artificial Intelligence, Automation and Work. **National Bureau of Economic Research**, Working Paper 24196, Cambridge, 2018a. Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w24196>

ACEMOGLU, Daron; RESTREPO, Pascual. The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment. **American Economic Review**, Vol. 108, No. 6, 2018b. Disponível em: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.20160696>

ACEMOGLU, Daron; RESTREPO, Pascual. Demographics and Automation. **National Bureau of Economic Research**, Working Paper 24421, 2018c. Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w24421>

ADERMON, Adrian; GUSTAVSSON, Magnus. Job Polarization and Task-Biased Technological Change: Evidence from Sweden, 1975–2005. **Scandinavian Journal of Economics**, vol. 117, issue 3, 878-917, 2015. Disponível em:

https://econpapers.repec.org/article/blascandj/v_3a117_3ay_3a2015_3ai_3a3_3ap_3a878-917.htm

ARNTZ, Melanie; GREGORY, Terry; ZIERAHN, Ulrich. The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis, **OECD Social**, Employment and Migration Working Papers, No. 189, OECD Publishing, Paris, 2016. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/the-risk-of-automation-for-jobs-in-oecd-countries_5j1z9h56dvq7-en

ARTUC, Erhan; CHRISTIAENSEN, Luc; WINKLER, Hernan. Does Automation in Rich Countries Hurt Developing Ones? Evidence from the U.S. and Mexico. **World Bank Group**, Policy Research Working Paper 8741, 2019. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/31279>

AUTOR, David. Polanyi's Paradox and the Shape of Employment Growth. **National Bureau of Economic Research**, Working Paper 20485, 2014. Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w20485>

AUTOR, David; LEVY, Frank; MURNANE, Richard J. The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration. **Quarterly Journal of Economics**, Vol.118, No.4, pp.1279-1334, 2003. Disponível em: <https://economics.mit.edu/files/11574>

AUTOR, David. Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation. **Journal of Economic Perspectives**, Vol. 29, No. 3, pp. 3-30, 2015. Disponível em: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jep.29.3.3>

AUTOR, David; KATZ, Lawrence F.; KEARNEY, Melissa. The Polarization of the U.S. Labor Market. **American Economic Review**, 96 (2): 189-194, 2006. Disponível em: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/000282806777212620>

AUTOR, David; KATZ, Lawrence. F.; KRUEGER, Alan B. COMPUTING INEQUALITY: HAVE COMPUTERS CHANGED THE LABOR MARKET? **National Bureau of Economic Research**, Working Paper 5956, 1998. Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w5956>

AUTOR, David; SALOMONS, Anna. Is Automation Labor-Displacing? Productivity Growth, Employment, and the Labor Share. **National Bureau of Economic Research**, Working Paper 24871, 2018. Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w24871>

BANERJEE, Abhijit; DUFLO, Esther. Pianola. In: BANERJEE, A.; DUFLO, E. Boa economia para tempos difíceis. **São Paulo: Editora Schwarcz - Companhia das Letras**, v. 3, p. 278-320, 2020.

BOWLES, Jeremy. The computerisation of European jobs. **Bruegel Blog**, 2014. Disponível em: <http://bruegel.org/2014/07/the-computerisation-of-european-jobs/>

BRESNAHAN, Timothy. Computerisation and Wage Dispersion: An Analytical Reinterpretation. **The Economic Journal**, vol. 109, no. 456, pp. F390–415, 1999. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2566012>

BRYNJOLFSSON, Erik; MCAFFE, Andrew. The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. **W. W. Norton & Company**, 2014. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/622156/mod_resource/content/1/Erik-Brynjolfsson-Andrew-McAfee-Jeff-Cummings-The-Second-Machine-Age.pdf

CARD, David; DINARDO, John E. Skill-Biased Technological Change and Rising Wage Inequality: Some Problems and Puzzles. **Journal of Labor Economics**, vol. 20, no. 4, 2002. Disponível em: <https://davidcard.berkeley.edu/papers/skill-tech-change.pdf>

CHIACCHIO, Francesco; PETROPOULOS, Georgios; PICHLER, David. The impact of industrial robots on eu employment and wages: A local labour market approach. **Bruegel Working Papers**, 2018. Disponível em: https://www.bruegel.org/sites/default/files/wp-content/uploads/2018/04/Working-Paper_02_2018.pdf

DAUTH, Wolfgang.; FINDEISEN, Sebastian; SUDEKUM, Jens; WOESSNER, Nicole. German robots-the impact of industrial robots on workers. **CEPR**, Discussion Paper No. DP12306, 2017. Disponível em: <https://doku.iab.de/discussionpapers/2017/dp3017.pdf>

FABRICANT, Solomon. The Relation between Factory Employment and Output since 1899, Chapters, in: The Relation between Factory Employment and Output since 1899. **National**

Bureau of Economic Research, pages 1-40, 1941. Disponível em: <https://www.nber.org/books-and-chapters/relation-between-factory-employment-and-output-1899>

FANO, Ester. The problem of “technological unemployment” in the industrial research of the 1930's in the United States, **History and Technology**, p. 277-306, 1984. Disponível em:

FREITAS, Carlos Eduardo de; COUTO, Joaquim; DANTAS, Jose Adalberto M. Testando a validade da teoria da compensação: o impacto da maquinaria sobre o volume de emprego na indústria de transformação brasileira (2000 – 2009). **A Economia em Revista - AERE**, v. 18, n. 2, p. 211-221, 2011. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/EconRev/article/view/50813>

FREY, Carl; OSBORNE, Michael A. The future of employment: how susceptible are jobs to computerization. **University of Oxford**, 201. Disponível em: https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf

GEORGIEFF, Alexandre; HYEE, Raphaela. Artificial intelligence and employment: New cross-country evidence. **OECD Social, Employment and Migration Working Papers 265**, OECD Publishing, 2021.

GOLDIN, Claudia; KATZ, Lawrence F. The Origins of Technology-Skill Complementarity. **National Bureau of Economic Research**, 1998. Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w5657>

GOOS, Maarten; MANNING, Alan. Lousy and Lovely Jobs: The Rising Polarization of Work in Britain. **Centre for Economic Performance, London School of Economics and Political Science**, 2003. Disponível em: https://eprints.lse.ac.uk/20002/1/Lousy_and_Lovely_Jobs_the_Rising_Polarization_of_Work_in_Britain.pdf

GOOS, Maarten; MANNING, Alan; SALOMONS, Anna. Explaining Job Polarization: Routine-Biased Technological Change and Offshoring. **American Economic Review**, 104 (8): 2509-26, 2014. Disponível em: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.104.8.2509>

GRAETZ, Georg; MICHAELS, Guy. Robots at Work. **The Review of Economics and Statistics**, v. 100, n. 5, p. 753–768, 2018. Disponível em: <https://direct.mit.edu/rest/article-abstract/100/5/753/58489/Robots-at-Work?redirectedFrom=fulltext>

HANDEL, Michael J. Implications of Information Technology for Employment, Skills, and Wages: A Review of Recent Research. **SRI International**, SRI Project Number P10168, 2003. Disponível em: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED574891.pdf>

HOBBSAWM, Eric. A era das revoluções: Europa 1789 -1848. Tradução de MariaTereza Lopes Teixeira e Marcos Penchel. Rio de Janeiro: **Paz e Terra**, 1991.

IFR. International Federation of Robotics. World Robotics 2020 Report. **IFR**, 2020. Disponível em: <http://reparti.free.fr/robotics2000.pdf>

JEROME, HARRY. Mechanization in Industry. **National Bureau of Economic Research**, 1934.

KATZ, Lawrence F.; LOVEMAN, Gary; BLANCHFLOWER, David. A Comparison of Changes in the Structure of Wages in Four OECD Countries. **National Bureau of Economic Research**, NBER Chapters, in: Differences and Changes in Wage Structures, pages 25-66, 1995. Disponível em: <https://www.nber.org/books-and-chapters/differences-and-changes-wage-structures/comparison-changes-structure-wages-four-oecd-countries>

KATZ, Lawrence F.; MARGO, Robert A. Technical change and the 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/books-and-chapters/human-capital-history-american-record/technical-change-and-relative-demand-skilled-labor-united-states-historical-perspective>

KATZ, Lawrence F.; MURPHY, Kevin. Changes in relative wages: supply and demand factors. **Quarterly Journal of Economics CVII**, 35–78, 1992. Disponível em: https://scholar.harvard.edu/files/lkatz/files/changes_in_relative_wages_1963-1987_supply_and_demand_factors.pdf

KEYNES, John M. Economic Possibilities for Our Grandchildren. **W.W. Norton**, In Essays in Persuasion, pp. 358–73, 1930, [1963]. Disponível em:

<http://www.econ.yale.edu/smith/econ116a/keynes1.pdf>

KRUEGER, Alan B. How Computers Have Changed the Wage Structure: Evidence from Microdata, 1984-1989. **The Quarterly Journal of Economics** **108**, no. 1, p. 33–60, 1993 <https://doi.org/10.2307/2118494>.

KRUSSEL, Per; OHANIAN, Lee E.; RIOS-RULL, Jose Victor; VIOLANTE, Giovanni L. Capital–skill complementarity and inequality: A macroeconomic analysis. **Econometrica** **68**, p.1029–1053, 2000. Disponível em: <http://piketty.pse.ens.fr/files/KrusellEtal00.pdf>

LANKISCH, Clemens; PRETTNER, Klaus; PRSKAWETZ, Alexia. How can robots affect wage inequality? **Economic Modelling**, v. 81, p. 161–169, set. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264999318310629>

LOHR, S. Economists Pin More Blame on Tech for Rising Inequality. **The New York Times**, p. 3, 11 jan. 2022. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2022/01/11/technology/income-inequality-technology.html>

MALONEY, William. F.; MOLINA, Carlos. Is Automation Labor-Displacing in the Developing Countries, Too? Robots, Polarization, and Jobs. **World Bank**, 2019. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/33301#:~:text=Robots%2C%20however%2C%20are%20displacing%20in,and%20assemblers%20in%20developing%20countries.>

MANYIKA, James et al. JOBS LOST, JOBS GAINED: WORKFORCE TRANSITIONS IN A TIME OF AUTOMATION. **McKinsey Global Institute**, 2017. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/public%20and%20social%20sector/our%20insights/what%20the%20future%20of%20work%20will%20mean%20for%20jobs%20s%20kills%20and%20wages/mgi-jobs-lost-jobs-gained-executive-summary-december-6-2017.pdf>

MARSHALL, Alfred. Princípios de economia: tratado introdutório. **Abril Cultural**, 1981 [1891].

MILL, John Stuart. Princípios de economia política: com algumas de suas aplicações à filosofia social. **Abril cultural**, vol. 1, 1983 [1848].

MOKYR, Joel; VICKERS, Chris; ZIEBARTH, Nicolas. The History of Technological Anxiety and the Future of Economic Growth: Is This Time Different? **Journal of Economic Perspectives**, Volume 29, Number 3, 2015, p. 31–50. Disponible em: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jep.29.3.31>

OECD. ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. Scoping the OECD AI principles: Deliberations of the Expert Group on Artificial Intelligence at the OECD (AIGO), **OECD Digital Economy Papers**, No. 291, OECD Publishing, Paris, 2019. Disponible em: https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/scoping-the-oecd-ai-principles_d62f618a-en

RIFKIN, Jeremy. The end of work: the decline of the global labor force and the dawn of the post-market era. **G.P. Putnam's Sons**, 1995.

SEBASTIAN, Raquel; BIAGI, Federico. The Routine Biased Technical Change hypothesis: a critical review. **European Commission**, Luxembourg, 2018. Disponible em: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC113174/jrc113174_review_of_routine_biased_technological_change_final.pdf

TINBERGEN, Jan. Substitution of graduate by other labor. **Kyklos** 27, 217–226, 1974.

TINBERGEN, Jan. Income Difference: Recent Research. **North-Holland Publishing Company**, Amsterdam, 1975.

ZEIRA, Joseph. Workers, Machines, and Economic Growth. **The Quarterly Journal of Economics**, Volume 113, Issue 4, 1998. Disponible em: https://josephzeira.weebly.com/uploads/5/7/3/4/57342721/98_qje.pdf

ZHOU, Yixiao; TYERS, Rod. Automation and inequality in China. **China Economic Review**, v. 58, 2019. Disponible em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1043951X18300981>

WOIROL, Gregory Ray. The Technological Unemployment and Structural Unemployment Debates. **Greenwood Press**, 1996.