

PUCRS

ESCOLA DE NEGÓCIOS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA DO DESENVOLVIMENTO  
DOUTORADO EM ECONOMIA DO DESENVOLVIMENTO

WILLIAN BOSCHETTI ADAMCZYK

**ENSAIOS SOBRE AS TECNOLOGIAS DE  
AUTOMAÇÃO NO MERCADO DE TRABALHO BRASILEIRO**

Porto Alegre  
2021

PÓS-GRADUAÇÃO - *STRICTO SENSU*



Pontifícia Universidade Católica  
do Rio Grande do Sul

WILLIAN BOSCHETTI ADAMCZYK

ENSAIOS SOBRE AS TECNOLOGIAS DE  
AUTOMAÇÃO NO MERCADO DE TRABALHO BRASILEIRO

Tese de doutorado apresentada como requisito para obtenção do grau de Doutor em Economia do Desenvolvimento, pelo Programa de Pós-Graduação em Economia do Desenvolvimento da Escola de Negócios da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Área de concentração: Economia Regional

Orientador: Prof. Dr. Adelar Fochezatto

Coorientador: Prof. Dr. Leonardo Monasterio

PORTO ALEGRE

2021

### Ficha Catalográfica

A197e Adamczyk, Willian Boschetti

Ensaio sobre as tecnologias de automação no mercado de trabalho brasileiro / Willian Boschetti Adamczyk. – 2021.

101 p.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Economia do Desenvolvimento, PUCRS.

Orientador: Prof. Dr. Adelar Fochezatto.

Co-orientador: Prof. Dr. Leonardo Monteiro Monasterio.

1. Desemprego tecnológico. 2. Mercado de trabalho. 3. Tecnologias de automação. I. Fochezatto, Adelar. II. Monasterio, Leonardo Monteiro. III. Título.

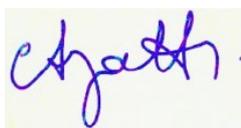
**Willian Boschetti Adamczyk**

“Ensaio Sobre as Tecnologias de Automação no Mercado de Trabalho Brasileiro”

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Economia, pelo Programa de Pós-Graduação em Economia da Escola de Negócios da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Aprovado em 08 de outubro de 2021, pela Banca Examinadora.

BANCA EXAMINADORA:



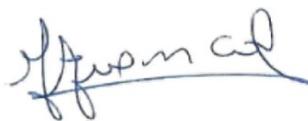
---

Prof. Dr. Adelar Fochezatto  
Orientador e Presidente da sessão



---

Prof. Dr. Leonardo Monasterio  
Coorientador



---

Prof. Dr. Marco Túlio Aniceto França



---

Prof. Dr. Edinaldo Tebaldi



---

Prof. Dr. Paulo de Andrade Jacinto

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são devidos a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, à elaboração desta tese de doutorado. Primeiramente à minha família, aos meus pais Lucimar e Ricardo Adamczyk, e avós Afonso e Lourdes Boschetti, Miecislavo e Otília Adamczyk, que garantiram todo apoio e as condições para o desenvolvimento deste e de outros trabalhos.

Agradeço ao orientador Professor Adelar Fochezatto, por todas as horas de conversas formais e informais, cujos conselhos e contribuições foram fundamentais para a realização deste estudo. Ao Professor Leonardo Monasterio por ter coorientado e contribuído em muitas oportunidades para crescimento pessoal e profissional.

Aos amigos e colegas José Martins dos Santos, Romílson Moreira, Gustavo Frio, Samanta Rosa, Natália Stein, Paulo Hoeckel, Otávio Conceição, Denise Manfredini, Gabriela Fahl e Francynne Souza pelas excelentes parcerias de estudo e contribuição em pesquisas e projetos. Por fim, aos professores Adalmir Marchetti, Augusto Alvim, Marco Túlio França, Paulo Jacinto e a toda equipe do Programa de Pós-Graduação em Economia da PUCRS.

When it comes to forecasting economic and political trends, humility is in order. Nobody should pretend to know exactly how tax and transfer policies will behave over future decades (LINDERT, 2004, p. 194).

## RESUMO

Quais os efeitos futuros das tecnologias de automação sobre o mercado de trabalho brasileiro? Busca-se responder à questão por meio de três ensaios. Primeiro, avalia-se os efeitos das tecnologias de automação sobre o setor público, introduzindo-se uma metodologia de estimação das ocupações mais propensas à automação, chamado *Bartik Occupational Tasks* (BOT). Segundo, realiza-se projeções de déficits no número de servidores por motivos de aposentadoria e investiga-se a automação como alternativas para a reposição de servidores. Terceiro, analisa-se as tendências futuras para o mercado de trabalho privado no Brasil por meio da discussão e aplicação das novas estimativas de automação.

**Palavras-chave:** Desemprego tecnológico; Mercado de trabalho; Tecnologias de automação.

## ABSTRACT

What is the future effect of automation technologies on the Brazilian job market? We answer this question with three essays. Firstly, we evaluate the effects of automation technologies on the public sector employment, introducing the *Bartik Occupational Task* (BOT) method, in order to build estimates on automation susceptibility of each occupation. Secondly, we approximate the deficit of public workers due to retirement, investigating automation as an alternative to replace them. Thirdly, we analyze the future trends for Brazil's private job market applying the new automation estimates.

**Keywords:** Technological unemployment; Job markets; Automation technologies.

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>ENSAIO I – AUTOMAÇÃO NO FUTURO DO EMPREGO DO SETOR PÚBLICO: APLICAÇÃO AO EXECUTIVO FEDERAL .....</b>	<b>14</b>
1.1 INTRODUÇÃO.....	15
1.2 REVISÃO DA LITERATURA.....	16
1.3 METODOLOGIA.....	19
1.3.1 Estimação da fronteira tecnológica de automação.....	19
1.3.2 Predição da propensão à automação .....	21
1.3.3 Fontes de dados.....	24
1.4 ESTIMAÇÃO DA FRONTEIRA TECNOLÓGICA DE AUTOMAÇÃO.....	25
1.5 RESULTADOS DE AUTOMAÇÃO PARA O EXECUTIVO FEDERAL .....	29
1.5.1 Estatísticas descritivas das ocupações do Executivo Federal .....	29
1.5.2 Efeitos da automação sobre as ocupações do Executivo Federal .....	30
1.5.3 Efeitos da automação por órgão superior.....	34
1.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	35
REFERÊNCIAS .....	37
<b>ENSAIO II – AUTOMAÇÃO E APOSENTADORIA DE SERVIDORES NO GOVERNO EXECUTIVO FEDERAL BRASILEIRO .....</b>	<b>41</b>
2.1 INTRODUÇÃO.....	42
2.2 LITERATURA PARA PREVISÃO DE APOSENTADORIA.....	43
2.3 METODOLOGIA.....	47
2.3.1 Dados .....	47
2.3.2 Simulação de aposentadoria.....	48
2.3.3 Estimativas de automação.....	49
2.4 RESULTADOS.....	50
2.4.1 A decisão de aposentadoria.....	51
2.4.2 Déficits de servidores por aposentadoria .....	54
2.4.3 Automação e aposentadoria .....	56

2.4.4	Tendências de aposentadoria e automação sobre as ocupações.....	58
2.5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	60
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	62
	REFERÊNCIAS .....	63

### **ENSAIO III – AUTOMAÇÃO E OCUPAÇÕES NO BRASIL: NOVAS ESTIMATIVAS** ..... **67**

3.1	INTRODUÇÃO.....	68
3.2	AUTOMAÇÃO E EMPREGO: UMA REVISÃO DA LITERATURA.....	69
3.2.1	Tecnologias e estudos de automação .....	69
3.2.2	Efeitos da automação sobre o mercado de trabalho.....	71
3.3	METODOLOGIA.....	73
3.3.1	Estimação da fronteira tecnológica de automação.....	73
3.3.2	Predição da propensão à automação .....	74
3.4	RESULTADOS DE AUTOMAÇÃO.....	77
3.4.1	A fronteira tecnológica de automação .....	77
3.4.2	Ocupações propensas à automação.....	81
3.4.3	Consequências setoriais da automação .....	84
3.5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	87
3.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	91
	REFERÊNCIAS .....	92

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 97**

### **APÊNDICE A1 – DETALHAMENTO DO DÉFICIT DE SERVIDORES ..... 99**

### **APÊNDICE A2 – RESULTADOS DO *RANDOM FOREST* ..... 100**

## APRESENTAÇÃO

O desemprego tecnológico é uma hipótese de preocupação recorrente da sociedade, na qual ocorre a eliminação de empregos, substituídos por tecnologias automáticas. Isso é possível quando o ritmo de destruição de postos de trabalho se dá de maneira mais acelerada que a criação de novos (FREY; OSBORNE, 2017). A literatura econômica recente oferece evidências de que as tecnologias de automação oferecem vantagens na realização de tarefas por serem facilmente escaláveis, com alto poder de redução de custos e ganhos de eficiência produtiva (AUTOR, 2015; FREY; OSBORNE, 2017; WEF, 2015).

A identificação de quais ocupações são automatizáveis é de elevada complexidade, e segundo Autor (2015), as repercussões públicas tendem a superestimar o alcance da substituição de trabalho humano por máquinas. Frequentemente, o debate ignora as possíveis complementaridades entre automação e trabalho. Ao invés de destruir empregos, em alguns setores, a automação pode aumentar a produtividade, elevar salários e incrementar a demanda por mão de obra (AUTOR, 2015).

Nesse contexto, pesquisas recentes trazem estimativas discordantes para a profundidade das transformações que as tecnologias podem causar. Em estudo pioneiro, Frey e Osborne (2017) mostraram que 47% dos empregos dos Estados Unidos sofrem elevado risco de serem automatizados nos próximos 25 anos. Na mesma linha, a McKinsey Global Institute (2017) classificou mais de duas mil atividades dos Estados Unidos, encontrando um potencial de automação de 46% dessas atividades.

Por outro lado, Arntz, Gregory e Zierahn (2016, 2017) estimaram que, na média dos países desenvolvidos selecionados, apenas 9% das ocupações sofrem alto risco de eliminação. Os trabalhadores não seriam substituídos completamente, mas teriam uma significativa parcela de suas tarefas automatizadas.

Estudos para o mercado de trabalho brasileiro vem sendo desenvolvidos, mas ainda são escassos e com metodologias incipientes. Albuquerque *et al.* (2019a) mostrou que 54,5% dos 45,9 milhões de postos de trabalho no país encontram-se em ocupações de alto ou muito alto risco de automação. Kubota e Maciente (2019) estimaram que cerca de 56,5% do total dos empregos formais no Brasil possuem ocupações com tarefas vulneráveis à automação.

Uma importante limitação dos estudos pioneiros é a utilização de metodologias *ad hoc*, que classificam ocupações como automatizáveis com base em entrevistas com especialistas.

Essas classificações são de difícil reprodução e transposição para contextos diferentes dos países em que foram desenvolvidos.

Como contribuição original do estudo, destaca-se a proposição de metodologia de estimação de propensão à automação com base em tendências de automação verificadas empiricamente, sem o uso de classificações subjetivas ou *ad hoc*. Introduce-se o método *Bartik Occupational Tasks* (BOT), construído com técnicas de *Machine Learning* e *Natural Language Processing*, a partir das descrições de tarefas da Classificação Brasileira de Ocupações.

Com isso, faz-se uma análise quantitativa específica para os setores público e privado, permitindo a identificação de oportunidades de automatização nas ocupações. Essa divisão entre os setores é feita pois considera-se diferentes dinâmicas na demanda por mão de obra. Enquanto o setor privado dispõe de flexibilidade e um mecanismo de preços de mercado para direcionar a alocação de trabalhadores entre as ocupações, o setor público depende de planejamento e maior rigidez para realização de contratações, demissões ou realocações de servidores. Assim, o estudo pretende auxiliar gestores de instituições públicas, privadas e demais trabalhadores na preparação para a introdução de tecnologias de automação.

Com o objetivo geral de investigar os efeitos da automação nos setores público e privado, os três ensaios da tese são desenvolvidos sobre três questões de pesquisa:

- Quais os efeitos das tecnologias de automação no futuro do emprego do setor público brasileiro? (Ensaio I).
- As tecnologias de automação podem representar soluções alternativas para a reposição de servidores no Poder Executivo Federal? (Ensaio II).
- Quais os efeitos das tecnologias de automação sobre o mercado de trabalho privado no Brasil? (Ensaio III).

No Ensaio I, “Automação no futuro do emprego do setor público: aplicação ao Executivo Federal”, analisa-se o efeito das tecnologias de automação sobre as ocupações do setor público. Estima-se a propensão à automação das ocupações do Poder Executivo Federal brasileiro e seus efeitos quantitativos e orçamentários. Define-se, pela primeira vez, a construção do método BOT.

No Ensaio II, “Automação e aposentadoria de servidores no governo Executivo Federal brasileiro”, busca-se entender se as tecnologias de automação podem representar soluções alternativas para a reposição de servidores por motivos de aposentadoria nas próximas três

décadas. Para esse fim, constrói-se projeções para o déficit de servidores, e os déficits esperados após a adoção de soluções de automação e realocação de servidores.

No Ensaio III, “Automação e ocupações no Brasil: novas estimativas”, analisa-se o potencial efeito das tecnologias de automação sobre o mercado de trabalho privado no Brasil. Aplica-se o método BOT para classificar as ocupações por propensão à automação e discute-se as tendências históricas e futuras de automação sobre o mercado de trabalho.

## ENSAIO I – AUTOMAÇÃO NO FUTURO DO EMPREGO DO SETOR PÚBLICO: APLICAÇÃO AO EXECUTIVO FEDERAL<sup>1</sup>

### Resumo

Quais os efeitos da automação no futuro do emprego do setor público? Com foco no Executivo Federal brasileiro, este estudo estima as ocupações e órgãos mais suscetíveis à automação com base em algoritmos de aprendizado de máquina e de processamento natural de linguagem. Inova-se ao apresentar um método objetivo para estimação de propensão à automação chamado *Bartik Occupational Tasks* (BOT), que evita o uso de classificações subjetivas ou *ad hoc*, como faz a literatura sobre o tema. Mostra-se que por volta de 20% dos servidores encontram-se em ocupações com elevado potencial a terem suas tarefas atribuídas a sistemas automatizados nas próximas décadas. Ocupações públicas com menores níveis médios de escolaridade e menores remunerações são as mais propensas à automação.

**Palavras-chave:** Automação; Aprendizado de máquina; Poder Executivo Federal.

### Abstract

What is the effect of automation on public sector employment? Using machine learning and natural language processing algorithms, the study estimates which occupations and agencies of the Brazilian Federal Government are most susceptible to automation. We contribute to the literature by introducing *Bartik Occupational Tasks* (BOT), an objective method for estimation of automation propensity that avoids subjective or *ad hoc* classifications. We show that around 20% of Brazilian civil servants work on jobs with high risk of automation in the coming decades. Government occupations with lower levels of schooling and lower wages have higher propensities of automation.

**Keywords:** Automation; Machine learning; Federal Government.

**JEL:** J24 - Human Capital • Skills • Occupational Choice • Labor Productivity.

---

<sup>1</sup> O Ensaio I tem como base a pesquisa “Impactos da Automação no Executivo Federal no Brasil” em desenvolvimento no período entre janeiro e dezembro de 2020, a pedido da Escola Nacional de Administração Pública – ENAP. Uma versão encontra-se publicada como Adamczyk, Monasterio e Fochezatto (2021), “Automation in the future of public sector employment: the case of Brazilian Federal Government”, na revista *Technology in Society*, v. 67, novembro 2021, n. 101722.

## 1.1 INTRODUÇÃO

Estudos sobre tecnologias de automação discutem mudanças futuras no mercado de trabalho, refletindo a preocupação geral com o risco de desemprego causado pela substituição de trabalhadores humanos por máquinas (ACEMOGLU; AUTOR, 2011; FREY; OSBORNE, 2017). Apesar do volume e qualidade dessa literatura, não há registro de estudos que atentem para a distinção entre as ocupações no setor privado e as do setor público.

Enquanto o setor privado possui flexibilidade para ajustar-se às mudanças tecnológicas por meio de contratações, demissões e realocação de funcionários, contando com o mecanismo de preços como sinalizador, o setor público possui maior rigidez para ajustar sua força de trabalho frente às mudanças tecnológicas. Na ausência de um mecanismo de mercado, a alocação dos trabalhadores dá-se por decisões planejadas pelo gestor público. Os conhecidos e persistentes problemas do Estado brasileiro<sup>2</sup> reduzem o ritmo da incorporação das tecnologias de automação, contribuindo para a defasagem da produtividade do setor público em relação ao setor privado.

O Ensaio I visa identificar as ocupações em que tecnologias de automação podem ser introduzidas para aumento de produtividade e redução de custos no serviço público. Para isso, apresenta a construção de novos algoritmos preditivos da propensão à automação das ocupações do Poder Executivo Federal no Brasil, possibilitando a análise do efeito quantitativo da automação por órgãos do funcionalismo público.

A literatura internacional (FREY; OSBORNE, 2017; ARNTZ; GREGORY; ZIERAHN, 2016, 2017) e nacional (ALBUQUERQUE *et al.*, 2019a, 2019b; KUBOTA; MACIENTE, 2019) de previsão de automação baseia-se na opinião de especialistas na área. Este trabalho inova ao aplicar um método objetivo, inspirado no *Bartik Instrument*, que permite estimar a trajetória ocupacional a partir de informações observadas do mercado de trabalho. O método aqui proposto – nomeado *Bartik Occupational Tasks* (BOT) – pode ser útil não só para o governo federal, mas também para outros entes federativos nacionais ou internacionais.

Algoritmos de *Natural Language Processing* (NLP) e de *Machine Learning* permitiram sintetizar e extrair informações quantitativas a partir dos textos que listam as tarefas envolvidas em cada uma das 2.627 ocupações da Classificação Brasileira de Ocupações (CBO). Esse foi o ponto de partida para a estimação da propensão à automação para as 389 ocupações do setor

---

<sup>2</sup> Ver Banco Mundial (2019).

público. Acesso a microdados completos dos mais de 520 mil servidores registrados no SIAPE em dezembro de 2017, combinados com os textos de descrição das ocupações da Classificação Brasileira de Ocupações e informações da RAIS identificada formam a base de dados deste trabalho.

As principais contribuições do artigo expõem, em termos empíricos, um perfil detalhado dos potenciais efeitos da automação. Mostra-se que 20% dos servidores desempenham ocupações classificadas em alta propensão à automação. Essas ocupações costumam apresentar menores níveis de escolaridade e remuneração.

Após essa introdução (1.1), apresenta-se a revisão bibliográfica (1.2), a metodologia e as fontes de dados (1.3), estima-se a fronteira tecnológica (1.4) e, por fim, analisa-se os efeitos quantitativos da automação sobre as ocupações do Executivo Federal (1.5).

## 1.2 REVISÃO DA LITERATURA

Apesar dos ganhos inegáveis de longo prazo da inovação, em breves intervalos de tempo, a introdução de tecnologias de automação pode gerar desemprego e outras tensões sociais. Assim, o desemprego tecnológico é definido como a eliminação de empregos por meio da substituição de trabalhadores por máquinas. Nesse contexto, os bens de capital podem se mostrar mais substitutos para o trabalho humano do que como seu complemento. Não há garantias, portanto, de que novas ocupações serão repostas no mesmo ritmo ou que esse ajuste será indolor (GOLDIN; KATZ, 1998). Mais recentemente, por trás da mudança de patamar tecnológico nos processos produtivos e no mercado de trabalho estão as tecnologias de computerização e de Inteligência Artificial (IA) (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2014; FREY; OSBORNE, 2017).

O conceito de Inteligência Artificial é amplo e de variadas definições. A IA pode ser compreendida como "*a system's ability to interpret external data correctly, to learn from such data, and to use those learnings to achieve specific goals and tasks through flexible adaptation*" (KAPLAN; HAENLEIN, 2020, p. 4)<sup>3</sup>. As tecnologias que constituem a IA incluem *machine learning, reinforcement learning, artificial neural networks, deep learning, computer vision* e outras em rápido desenvolvimento (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2014).

---

<sup>3</sup> “A habilidade de um sistema de interpretar dados externos corretamente, aprender com tais dados, e usar esse aprendizado para atingir objetivos específicos e tarefas por meio de flexível adaptação” (KAPLAN; HAENLEIN, 2020, p. 4). Tradução nossa.

O desenvolvimento das tecnologias de inteligência artificial permite a sua extensão para o mercado de trabalho. A literatura de desemprego tecnológico<sup>4</sup> oferece evidências de que a introdução de novas tecnologias de informação viabiliza automatizar tarefas executadas por trabalhadores. Tais tecnologias oferecem vantagens por serem facilmente escaláveis, com alto poder de redução de custos e ganhos de eficiência produtiva (AUTOR, 2015; FREY; OSBORNE, 2017; WEF, 2016).

O horizonte das tarefas que podem ser automatizadas é difuso e se desloca progressivamente em direção às tarefas de maior complexidade. As tarefas que hoje são consideradas rotineiras não são limitantes para o avanço da tecnologia, que possuem potencial de progressão na substituição das tarefas mais simples até as mais abstratas em uma questão de décadas (FREY; OSBORNE, 2017). Nesse contexto, considera-se que uma profissão tende a ser eliminada quando grande parte de suas atividades são substituídas. Assim, a profissão transforma-se em outra, agregando diferentes tarefas sob uma nova denominação.

A identificação de ocupações automatizáveis em um cenário de constante evolução tecnológica é acompanhada de apreensão por parte da sociedade. Segundo Autor (2015), jornalistas e a mídia em geral tendem a superestimar o alcance da substituição de trabalho humano por máquinas e ignorar a forte complementaridade entre automação e trabalho que aumenta a produtividade, eleva salários, e incrementa a demanda por trabalho. Identificar as ocupações mais afetadas pela automação e seus impactos sobre o mercado de trabalho não é tarefa trivial e ainda não conta com literatura e metodologias consolidadas.

Pesquisas recentes trazem resultados conflitantes para a profundidade das transformações que as tecnologias podem causar como impacto na eliminação de postos de trabalho. As discordâncias podem ser contrastadas pela metodologia empregada na estimação: *automação com base em ocupações* (FREY; OSBORNE, 2017) ou *automação com base em tarefas* (ARNTZ; GREGORY; ZIERAHN, 2016, 2017).

A *automação com base em ocupações* busca encontrar as profissões que tendem a desaparecer nas próximas décadas e o impacto do desemprego tecnológico sobre salários,

---

<sup>4</sup> Discussões transversais ao desemprego tecnológico e automação, mas que não são questões centrais deste estudo são as de retorno da educação e mudança tecnológica por habilidades (GRILICHES, 1969; GOLDIN; KATZ, 1998; ACEMOGLU; AUTOR, 2011; FIRPO, FORTIN; LEMIEUX, 2011), *offshorability* (BLINDER, 2009; JENSEN; KLETZER, 2010), desigualdade e polarização no mercado de trabalho (AUTOR, 2010; AUTOR; KATZ; KEARNEY, 2006; GOOS; MANNING, 2007; JAIMOVICH; SIU, 2012; GOOS; MANNING; SALOMONS, 2014).

desigualdade e polarização da renda. Nessa abordagem, Frey e Osborne (2017) e a pesquisa da McKinsey Global Institute (2017) estimaram que cerca de 47% dos empregos dos Estados Unidos possuem elevado risco de desaparecer em três décadas devido à automatização das profissões.

A metodologia aplicada por Frey e Osborne (2017) atribuiu probabilidades de automatização das tarefas de cada profissão de acordo com a identificação dos gargalos tecnológicos (*bottlenecks*), realizando a classificação das atividades em baixo e alto risco. A fim de desenvolver os modelos preditivos, Frey e Osborne (2017) estimaram possíveis resultados de automação com base na opinião de um grupo de especialistas em aprendizado de máquina. As 70 ocupações em que os autores confiavam que todas as tarefas poderiam ser automatizáveis foram manualmente classificadas, servindo como informações para o treino do modelo. A partir desse treinamento, os autores inferiram as probabilidades de automatização para as demais 900 profissões da *Standard Occupational Classification* (SOC),

Em estudos para o mercado de trabalho formal brasileiro, Albuquerque *et al.* (2019a, 2019b) adaptaram a metodologia de Frey e Osborne (2017) confiando na avaliação de automação de 69 especialistas em inteligência artificial. Estimaram assim que 54,5% dos 45,9 milhões de postos de trabalho encontram-se em ocupações com alta ou muito alta probabilidade de automação. Com probabilidade alta foram consideradas as ocupações no terceiro quartil, enquanto muito alta as que se encontraram no quartil superior da distribuição da probabilidade de automação.

Críticas ao elevado percentual de trabalhadores em ocupações em alto risco de automação surgiram na literatura. Primeiro, Arntz, Gregory e Zierahn (2016) apontaram que a estimativa com base em ocupações oferece superestimativas de automação, pois mesmo naqueles empregos considerados de alto risco, trabalhadores podem realizar tarefas que são de difícil automação. O impacto da automação é heterogêneo e parcial sobre as ocupações, que são passíveis de serem remodeladas e assumirem um novo caráter, qualificação e denominação.

Segundo, a classificação subjetiva pode incorrer em confusão entre o potencial para automação e as perdas no nível de emprego nas ocupações. Por vezes, a automação pode ser factível de um ponto de vista tecnológico, mas não ser economicamente viável (ARNTZ; GREGORY; ZIERAHN, 2016).

Como alternativa, Arntz, Gregory e Zierahn (2016, 2017) propuseram a estimativa da probabilidade de automação *com base em tarefas* que compõe cada ocupação, em nível mais

desagregado, o que permite incorporar heterogeneidades entre trabalhadores. Por essa abordagem, Arntz, Gregory e Zierahn (2016) estimaram que, na média dos países desenvolvidos selecionados, apenas 9% dos trabalhadores estão em ocupações com alto risco de desaparecer.

Para o Brasil, Kubota e Maciente (2019) estimaram que cerca de 56,5% dos empregos formais no país possuem ocupações vulneráveis à automação, considerando tecnologias consolidadas e possíveis de implementação dentro do marco regulatório em um prazo de cinco anos. Usando 19 mil tarefas descritas na base O\*NET, foi realizada a construção de um dicionário de palavras-chave associadas à automação com base na classificação de atividades por seus requisitos de rotina e cognição propostos para a Alemanha em Spitz-Oener (2006).

Em Maciente, Rauen e Kubota (2019) mostrou-se que, em comparação com os países desenvolvidos, a maior parte da mão-de-obra das ocupações brasileiras se encontra em atividades intensivas em habilidades rotineiras e de baixo nível cognitivo. A literatura indica que tarefas rotineiras de operação e controle, e dependentes de aptidões físicas tendem a perder espaço no mercado de trabalho frente as de maior qualificação. Empregando as probabilidades de automação de Albuquerque *et al.* (2019a), Maciente, Rauen e Kubota (2019) consideraram que ocupações com alta probabilidade de automação representam 29% do emprego no Brasil.

Como se vê, as estimativas existentes são discordantes para o potencial de automação no Brasil. Analisando o mercado de trabalho como um todo, os estudos não consideram as dinâmicas e especificidades diversas das ocupações do setor público em relação às ocupações privadas. Além disso, confiam na atribuição de automação a classificações *ad hoc* ou subjetivas.

### 1.3 METODOLOGIA

#### 1.3.1 Estimação da fronteira tecnológica de automação

O objetivo da estimação da fronteira tecnológica é encontrar tendências de automação no setor privado que possam ser replicadas no setor público, adotando como diferencial metodológico uma abordagem empírica de classificação das ocupações que podem ser automatizadas.

A intuição do novo método é a seguinte: parte-se da suposição de que a automação do setor público já está defasada em relação à fronteira tecnológica relevante. Mantida essa defasagem, ao menos em termos potenciais, o futuro do setor público reproduzirá as tendências recentes da fronteira relevante. A fronteira escolhida foi o estado de São Paulo entre 2010 e

2018. Porém, não basta atentar para quais ocupações apresentaram variação do nível de emprego, pois outros motivos além da automação poderiam levar a esse resultado.

Nesse sentido, emprega-se uma construção semelhante ao *Bartik Instrument*, também conhecido como *Shift-Share Instrument*. A análise *Shift-Share* permite a decomposição do crescimento do emprego local em três efeitos: nacional, estrutural e diferencial. Apesar de ser um método tradicional na área de Economia Regional (DUNN, 1960), a técnica renasceu partir dos trabalhos de Bartik (1991) e Blanchard e Katz (1992), os quais utilizam um de seus componentes como variável instrumental<sup>5</sup>. A decomposição do crescimento local (regional) pode ser vista como:

$$\text{Crescimento Local} = \text{Efeito Nacional} + \text{Efeito Estrutural} + \text{Efeito Diferencial} \quad (1)$$

No método *Shift-Share* regional, o efeito nacional representa a parcela do crescimento do emprego local devido ao crescimento do emprego no país como um todo. O efeito estrutural representa a mudança no emprego local resultante do crescimento do emprego a nível nacional. O efeito diferencial representa a variação no emprego por fatores internos aos locais que não são explicados pelos efeitos nacional e estrutural. No contexto de automação de ocupações, busca-se encontrar o efeito de variação do emprego nas ocupações que não é explicado pelo crescimento nacional e setorial. Esse efeito será usado como variável dependente no treino da predição de propensão à automação, condicionado às tarefas das ocupações, conforme detalhado na subseção 3.2.

Para encontrar o efeito diferencial de automação, adapta-se o método *Shift-Share* para controlar efeitos de crescimento do emprego *setorial* ao em vez de crescimento regional. A Tabela 1 representa a modificação do método *Shift-Share* regional para ocupacional devido à introdução de informações sobre setores e ocupações.

---

<sup>5</sup> Para uma crítica ao uso do *Bartik Instrument* ver Goldsmith-Pinkham *et al.* (2018) e Jaeger *et al.* (2018). Para o caso brasileiro, o *Bartik Instrument* foi aplicado à RAIS por Dix-Carneiro (2014); Dix-Carneiro, Soares e Ulyssea (2018); Macedo e Monasterio (2016), entre outros.

Tabela 1 – Modificação do método *Shift-Share* regional para ocupacional.

a) <i>Shift-Share</i> Regional			b) <i>Shift-Share</i> Ocupacional		
	Setor 1	Setor $j$		Setor 1	Setor $j$
Região 1	$a_{11}$	$a_{1j}$	Ocupação 1	$b_{11}$	$b_{1j}$
Região $i$	$a_{i1}$	$a_{ij}$	Ocupação $i$	$b_{i1}$	$b_{ij}$

Fonte: elaboração própria.

em que  $a_{ij}$  indica o emprego da Região  $i$  no Setor  $j$ . Em contraste, o método modificado substitui Região por Ocupação. Assim,  $b_{ij}$  indica o emprego da Ocupação  $i$  no Setor  $j$ . Essa mudança implica que: o *efeito nacional* passa a representar o crescimento do emprego como um todo; o *efeito estrutural*, a mudança no emprego setorial como um resultado do crescimento do setor do emprego nacional; o *efeito diferencial* representa a variação no emprego setorial devida a mudanças internas às ocupações.

Em particular, o efeito diferencial mostra alterações na distribuição dos empregos entre as ocupações após remover os efeitos de crescimento total e crescimento de cada um dos setores. Essa mudança na composição dos empregos dentro dos setores é atribuída às alterações nas tecnologias de produção, ao reestruturar as relações de substituição (ou complementaridade) entre capital e trabalho, decorrentes da introdução de tecnologias de automação no mercado de trabalho.

Com as estimativas de automação para a fronteira tecnológica, parte-se para a atribuição das mudanças às tarefas das ocupações e a generalização para as ocupações do Poder Executivo Federal.

### 1.3.2 Predição da propensão à automação

A abordagem adotada é atribuir o impacto da automação às tarefas que compõem cada ocupação, e não diretamente à ocupação. Para isso, utiliza-se os resultados da etapa anterior para a construção do *Bartik Occupational Tasks* (BOT), método que tem o objetivo de realizar a predição da propensão à automação com base nas tarefas de cada ocupação.

Para obter a informação das tarefas inerentes a cada ocupação utilizou-se a Matriz de Atividades da CBO 2002. A matriz de atividades mostra as tarefas que constituem aquela ocupação. Por exemplo, a ocupação Administrador (252105) traz as atividades “Administrar

organizações”, “Elaborar planejamento organizacional”, “Implementar programas e projetos”, entre outras.

Algoritmos de *Natural Language Processing* (NLP) permitem ponderar os termos das atividades que constituem cada ocupação e identificar a sua contribuição para o efeito diferencial de automação estimado na etapa anterior. Com isso, pôde-se generalizar a propensão à automação para as demais ocupações com base no peso relativo das tarefas.

Para identificar o peso relativo das tarefas emprega-se a técnica *Term Frequency–Inverse Document Frequency* (TF-IDF). O valor do TF-IDF aumenta proporcionalmente à frequência em que uma palavra aparece em um extrato de texto em relação ao número de textos que contém essa palavra. Na formulação semelhante à Ramos (2003), dada uma coleção de documentos  $D$ , um termo  $w$ , e um documento único  $d \in D$ , calcula-se:

$$w_d = f_{w,d} * \log(|D| / f_{w,D}) \quad (2)$$

em que  $f_{w,d}$  é a frequência relativa vezes que  $w$  aparece em  $d$ ,  $|D|$  é o tamanho do conjunto de textos (*corpus*), e  $f_{w,D}$  o número de documentos em que  $w$  aparece em  $D$ . Termos com elevado  $w_d$  implicam que  $w$  é uma palavra importante em  $d$ , mas não é comum em  $D$ . Portanto, o termo  $w$  apresenta poder discriminatório em relação ao conjunto de todos os textos (RAMOS, 2003).

O método TF-IDF tem como principal limitação a impossibilidade de identificar flexões gramaticais de um mesmo termo (QAISER; ALI, 2018). Nesse caso, atividades com a grafia “analisar”, “análise” ou [*sic*] “analise” seriam vistas como diferentes. Por esse motivo, anterior ao TF-IDF faz-se um procedimento de *stemming*, que traz variações de termos para uma raiz comum. Aplica-se também um procedimento de remoção de *stopwords* para descartar conectores frasais como artigos, conjunções, números e caracteres especiais que não retêm valor semântico para a análise.

Assim, a análise TF-IDF da Matriz de Atividades da CBO oferece uma ponderação que permite descontar a importância de termos que são comuns às tarefas de outras ocupações, colocando maior ênfase nas tarefas únicas que as diferenciam. Assim,  $D$  é o conjunto de 20.003 descrições de atividades de 2601 ocupações, resultando em 47 milhões de palavras. Por fim, a medida da importância das tarefas dentro de cada ocupação é calculada pela soma dos pesos relativos  $w_d$  obtidos. A matriz resultante possui 2341 termos ponderados para 2601 ocupações.

O *Bartik Occupational Tasks* (BOT) é então construído a partir da união dos resultados do TF-IDF com o efeito diferencial. O BOT considera a importância relativa da tarefa em cada ocupação como variável explicativa da propensão à automação obtida do efeito diferencial da fronteira tecnológica. Considera-se o modelo em (3) para realizar a atribuição do efeito diferencial diretamente aos termos constituintes das tarefas de cada ocupação:

$$BOT = f \left( w_{d_{111}} \text{termo}_{111}, \dots, w_{d_{ijk}} \text{termo}_{ijk} \right) \quad (3)$$

em que o BOT atribui o efeito diferencial de automação estimado para a fronteira tecnológica aos  $w_d$  pesos encontrados para cada termo  $i$ , que constituem as tarefas  $j$  de cada ocupação  $k$  extraídos na aplicação do método TF-IDF.

A fim de encontrar o melhor método para predição e seguindo as práticas da área de *machine learning*, subdivide-se a amostra de 2601 ocupações em subamostras aleatórias de 70% do tamanho inicial, em um conjunto de treino e um conjunto de teste. Constrói-se os modelos com dados do conjunto de treino, atribuindo um valor de importância relativa a cada uma das variáveis explicadas, e avalia-se o desempenho dos modelos frente ao conjunto de teste. O modelo selecionado é então usado para generalizar a importância relativa a todas as ocupações da base de dados da CBO, com base na importância das tarefas.

Foram tentados diversos métodos econométricos e de *machine learning* para avaliar aquele que apresentava o melhor desempenho preditivo geral nos dados de teste. O método *Random Forest Regression* (BREIMAN, 2001) foi selecionado a partir de avaliações de acurácia e poder preditivo quando confrontado com modelos de regressão linear, modelos logísticos, e demais métodos de *machine learning*, como *Support Vector Machines* (SVM), *Support Vector Regression* (SVR) e *Decision Trees*.

Métodos *Random Forest* têm se tornado populares por oferecerem bom desempenho preditivo, especialmente em contextos de estimação em matriz esparsa (*sparsity*) (ATHEY; IMBENS, 2019). Ao transformar as tarefas pela análise TF-IDF, a matriz resultante é esparsa, com o número de variáveis regressoras superior ao número de observações. Nesse contexto, o desempenho do *Random Forest Regression* mostrou-se superior aos demais métodos com uma capacidade de acertos na predição acima de 92%, considerando uma validação cruzada em 764 subamostras aleatórias. O Apêndice A2 mostra os resultados do algoritmo *Random Forest*.

A partir desse procedimento, obtém-se as estimativas de propensão à automação para todas as ocupações da CBO, incluindo setor privado e público. Esse número foi padronizado entre 1 (maior propensão à automação) e 0 (menor propensão). Deve-se realizar a leitura deste resultado em termos ordinais com o objetivo de ranquear as ocupações da mais à menos provável de ser automatizada.

A classificação em relação à propensão à automação de cada ocupação depende do quartil da distribuição de propensão estimada na qual se encontra. Como em Albuquerque *et al.* (2019a), classifica-se como “alta propensão à automação” as ocupações acima do 75º percentil; “média-alta propensão à automação” aquelas ocupações entre o 50º e 75º percentil; “média-baixa” entre 25º e 50º percentil; e “baixa” abaixo do 25º percentil. Ainda seguindo a literatura, considera-se que esses pontos de corte não devem ser vistos como estáticos, mas como uma classificação que depende do horizonte temporal. A literatura de automação reconhece que as tecnologias avançam sobre as ocupações ao deslocar-se o foco para uma, duas, ou três décadas à frente (FREY; OSBORNE, 2017).

### 1.3.3 Fontes de dados

Dentre as bases de dados relevantes para a execução do estudo destaca-se a Classificação Brasileira de Ocupações (2002), a Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), de responsabilidade do Ministério da Economia do Brasil, e a base de dados do Sistema Integrado de Administração de Pessoal (SIAPE).

O Sistema Integrado de Administração de Pessoal (SIAPE) centraliza o processamento da folha de pagamentos dos órgãos das administrações direta, fundacional e autárquica do poder executivo que dependem do Tesouro Nacional para as suas despesas de pessoal. O SIAPE é responsável por processar o pagamento de servidores, regidos pelo Regime Jurídico Único Federal (Lei 8.112/90), pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) e regimes de contratos temporários, estágios, residência médica, entre outros. A base de dados contém informação de servidores ativos, além de aposentados e pensionistas, alocados em órgãos públicos federais em todo o território brasileiro (SIAPENET, 2020).

No presente estudo considera-se apenas os servidores civis ativos, de acordo com seu vínculo principal, de carga horária igual ou superior a 40 horas semanais em dezembro de 2017. Com esse filtro, trabalha-se com as informações de 521.701 servidores, de um total de 627.284 vínculos registrados no SIAPE.

Uma dificuldade inicial foi a de compatibilizar a nomenclatura dos cargos do SIAPE, que não seguem uma padronização em termos de código, descrição ou ortografia, resultando em 1155 variações de cargos. A fim de obter um padrão, atribui-se aos cargos do Executivo Federal os códigos e títulos da Classificação Brasileira de Ocupações (2002), por meio da correspondência entre o CPF do servidor no SIAPE e na RAIS Identificada de 2017. Refina-se os resultados considerando o CBO modal para cada cargo do SIAPE<sup>6</sup>, seguido de uma inspeção visual da correspondência entre a descrição das atividades das ocupações na CBO e descrição das atividades dos cargos. A compatibilização resulta em 389 ocupações públicas distintas.

A Classificação Brasileira de Ocupações descreve e ordena as ocupações dentro de uma estrutura hierárquica, possibilitando que a sistematização de informações referentes à força de trabalho, de acordo com suas características ocupacionais e a natureza e conteúdo do trabalho. Descreve as funções, obrigações e tarefas que constituem cada ocupação, trazendo também o conteúdo do trabalho em termos do conjunto de conhecimentos, habilidades e requisitos exigidos para o exercício de cada ocupação (CONCLA, 2019).

Para a estimação da fronteira tecnológica de automação empregou-se os dados da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS). A RAIS é reconhecida como uma das fontes estatísticas mais confiáveis sobre o mercado de trabalho formal no Brasil (DIX-CARNEIRO, 2014). Os microdados constituem um registro administrativo que pode ser visto como um censo do mercado de trabalho formal (RAIS, 2019).

A seção seguinte expõe os resultados encontrados para a estimação da fronteira tecnológica de automação, que serve para a construção da medida de propensão à automação com base nas tarefas das ocupações.

#### 1.4 ESTIMAÇÃO DA FRONTEIRA TECNOLÓGICA DE AUTOMAÇÃO

A fim de justificar a mudança tecnológica a partir de tendências verificadas no passado recente, observou-se as mudanças ocorridas nas ocupações do setor privado do estado de São Paulo, entre 2010 e 2018. Considera-se São Paulo como a fronteira tecnológica brasileira<sup>7</sup>, por possuir segunda maior renda média entre os estados (IBGE, 2019), atuar como *hub* de contato

---

<sup>6</sup> Agradecemos a Danilo Cardoso, Flávio da Vitoria e Pedro Masson, da coordenação geral de Ciência de Dados da ENAP, pelo apoio no acesso e na compreensão da base identificada do SIAPE.

<sup>7</sup> O treinamento do modelo foi testado considerando outros estados da federação como fronteira. A classificação de propensão à automação se mostrou estável por meio de forte correlação de resultados entre São Paulo e: Rio de Janeiro (0,80), Minas Gerais (0,76) e Rio Grande do Sul (0,68).

internacional com elevado número de empresas multinacionais e do setor de tecnologia, ao concentrar 69,5% do total investido pelos estados brasileiros em pesquisa e desenvolvimento (INVESTESP, 2020) e ter 42,9% do total de trabalhadores das áreas de *hardware*, *software*, serviços, nuvem e produção de tecnologia da informação (VALOR, 2018).

Com base na RAIS, o estado de São Paulo apresentou 18,5 milhões de vínculos em 2010, e 17 milhões de vínculos em 2018, uma variação de -5,6%. Tal decréscimo no número de empregos pode estar relacionado à elevação da taxa de desocupação em relação ao ano inicial, de acordo com tendências crescentes no desemprego observados na Pesquisa Mensal do Emprego (PME) e (IBGE, 2019).

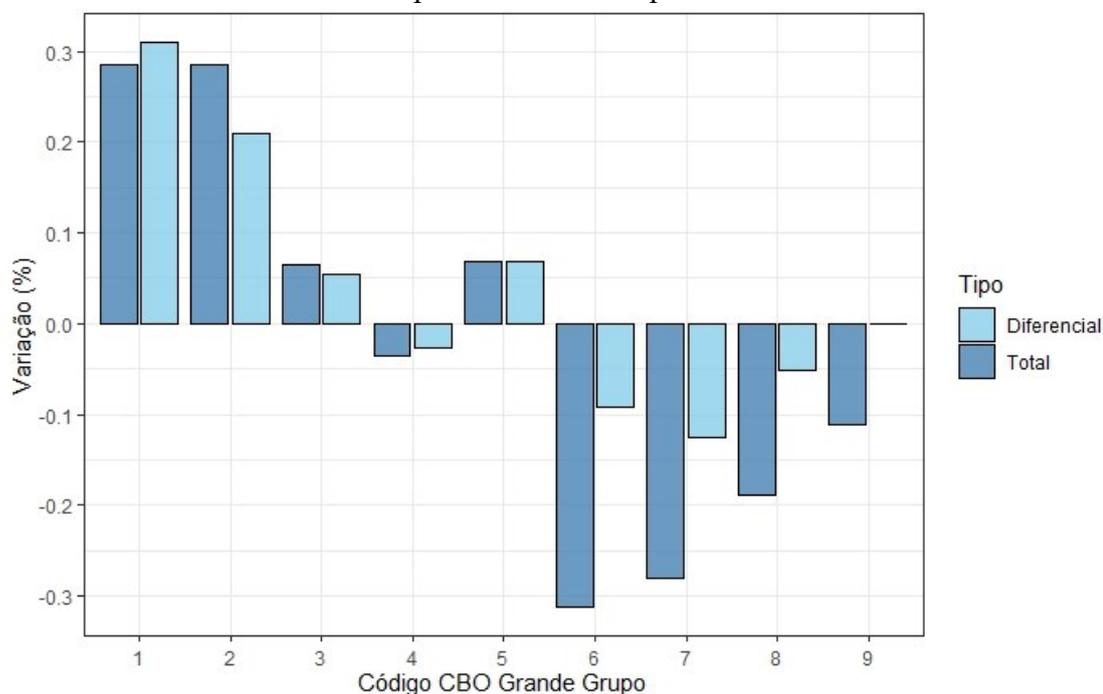
As variações no nível de emprego não afetam de maneira homogênea os diferentes setores da economia e suas ocupações. Assim, busca-se extrair o efeito diferencial para entender a mudança na composição dos empregos dentro dos setores atribuída à introdução de tecnologias de produção automatizáveis.

A Figura 1 contrasta o crescimento do emprego verificado em cada setor (Efeito Total) com o crescimento no emprego independentemente do crescimento setorial (Efeito Diferencial). A variação diferencial foi estimada pelo método BOT exposto na subseção 3.1 da Metodologia e Dados.

Os resultados estão agregados por Grande Grupo da CBO, que considera 10 categorias de ocupações. O grupo 0, que contém forças armadas, policiais e bombeiros militares foi removido, já que a construção do efeito diferencial da fronteira tecnológica considera apenas os trabalhadores do setor privado.

O grupo de membros superiores do poder público, dirigentes de organizações de interesse público e de empresas e gerentes (+28,6%) foi o que mais cresceu em número total de empregos, seguido de profissionais das ciências e das artes (+28,5%) e trabalhadores dos serviços, vendedores do comércio em lojas e mercados (+6,9%). Os grupos que mostraram maior retração são os trabalhadores agropecuários, florestais e da pesca (-31,3%), e trabalhadores da produção de bens e serviços industriais, tanto de processos discretos (-28%) quanto de processos contínuos (-18,9%).

Figura 1 – Efeito total e diferencial por CBO no setor privado de São Paulo - 2010 a 2018.



Legenda – Códigos e Títulos CBO 2002 - Grande Grupo:

1 Membros superiores do poder público, dirigentes de organizações (...) de empresas e gerentes

2 Profissionais das ciências e das artes

3 Técnicos de nível médio

4 Trabalhadores de serviços administrativos

5 Trabalhadores dos serviços, vendedores do comércio em lojas e mercados

6 Trabalhadores agropecuários, florestais e da pesca

7 Trabalhadores da produção de bens e serviços industriais (processos discretos)

8 Trabalhadores da produção de bens e serviços industriais (processos contínuos)

9 Trabalhadores em serviços de reparação e manutenção

Fonte: elaboração própria.

Em termos diferenciais, o grupo de membros superiores do poder público, dirigentes de organizações de interesse público e de empresas e gerentes mostrou maior crescimento (+31%), seguido dos profissionais das ciências e das artes (+21%) e trabalhadores dos serviços, vendedores do comércio em lojas e mercados (+6,8%).

Os grupos com maior retração diferencial foram os trabalhadores da produção de bens e serviços industriais (processos discretos) (-12,6%), trabalhadores agropecuários, florestais e da pesca (-9,2%) e trabalhadores da produção de bens e serviços industriais (processos contínuos) (-5,2%).

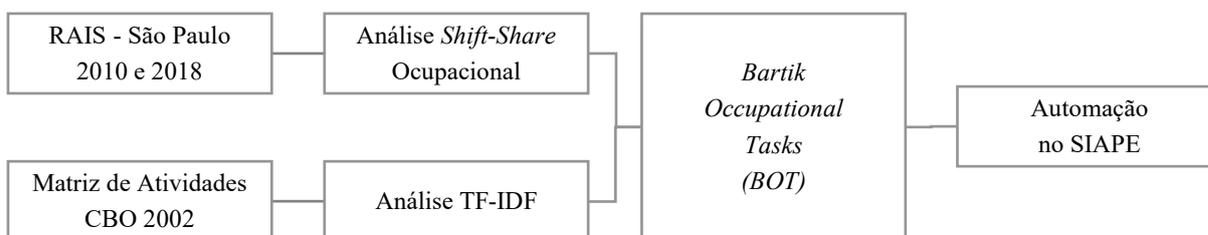
Em linha com a literatura, os grupos de ocupações que estão mais sujeitos à automação agregam trabalhadores de menor qualificação e menor remuneração, com tarefas que possuem maior possibilidade de serem padronizadas e codificadas em algoritmos (FREY; OSBORNE,

2017). Tais ocupações são mais comuns na produção de bens e serviços industriais, tanto em processos contínuos e discretos, assim como em atividades agropecuárias, florestais e da pesca.

Por outro lado, ocupações que requerem o uso de criatividade na solução de problemas e inteligência social para comunicação e interação com equipes, são apontadas como menos propensas à automação (FREY; OSBORNE, 2017). Essa tendência se reflete no crescimento diferencial verificado nos grupos que incluem os membros superiores do poder público, dirigentes e gerentes de organizações em geral, assim como profissionais da ciência e das artes.

Considera-se que os resultados obtidos com o método BOT condizem com os efeitos de automação apontados por estudos realizados para os Estados Unidos e países da OCDE e baseados na opinião de especialistas. Dessa forma, usa-se o efeito diferencial estimado para classificar as ocupações mais propensas à automação, atribuindo esse efeito às diferentes tarefas exercidas em cada uma das ocupações. Para isso, calcula-se o efeito diferencial para 49 subgrupos principais de ocupações, de acordo com a desagregação dada pela categorização de dois dígitos da CBO 2002. A Figura 2 esquematiza os procedimentos de estimação do estudo:

Figura 2 – Etapas de estimação da propensão à automação no Executivo Federal.



Fonte: elaboração própria.

Em resumo, a RAIS de São Paulo é usada para encontrar o efeito diferencial por meio da modificação ocupacional do método *Shift-Share*, enquanto a Matriz de Atividades da CBO passa pela análise TF-IDF. Os resultados de efeito diferencial e TF-IDF se unem para a construção do método BOT, que estima a propensão à automação por meio de *Random Forest Regression*. O modelo é então usado para encontrar a influência da automação sobre as ocupações do Executivo Federal, cujas informações provêm da base de dados do SIAPE. Nessa

etapa, investiga-se o efeito sobre a qualificação e quantidade de servidores em cada ocupação e sua distribuição nos diferentes órgãos.

## 1.5 RESULTADOS DE AUTOMAÇÃO PARA O EXECUTIVO FEDERAL

Na presente seção analisa-se a propensão à automação estimada nas seções anteriores, mostrando as estatísticas descritivas das ocupações no Executivo Federal (1.5.1), o efeito geral da automação sobre as ocupações (1.5.2) e por órgão superior (1.5.3).

### 1.5.1 Estatísticas descritivas das ocupações do Executivo Federal

A Tabela 2 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis quantitativas e qualitativas dos servidores analisados na pesquisa. Nota-se que a média de estudo é de 15,3 anos, com um mínimo de 8 anos (ensino fundamental completo) a um máximo de 21 anos (doutorado). A variável de escolaridade descreve as categorias da maior titulação declarada pelo servidor. A maior parte dos servidores possui ensino superior completo (36%), seguido de ensino médio (20%), doutorado (19%) e mestrado/MBA (19%), e ensino fundamental (5%).

Tabela 2 – Estatísticas descritivas dos servidores na base do SIAPE – dezembro de 2017.

Variável	Mínima	Mediana	Média	Máxima	Desvio Padrão
Anos de Estudo	8,00	15,00	15,35	21,00	3,68
Idade	18,00	47,00	46,70	90,00	11,65
Remuneração Mensal (R\$)	0,00	8.078,00	9.913,01	50.298,89	6.201,64

Escolaridade	Quant.	%	Idade	Quant.	%	Remuneração (em mil R\$)	Quant.	%
Fundamental	28.396	5,4	18  --- 30	42.043	8,1	0  --- 10	314.593	60,3
Médio	106.141	20,3	30  --- 50	259.273	49,7	10  --- 20	162.438	31,1
Superior	187.932	36,0	50  --- 70	218.346	41,9	20  --- 30	43.295	8,3
Mestrado ou MBA	97.937	18,8	70  ---  90	2.039	0,4	30  --- 40	1.358	0,3
Doutorado	101.295	19,4				40  ---  50	17	0,003
Total	521.701	100		521.701	100		521.701	100

Fonte: elaboração própria.

A idade média dos servidores é de 46,7 anos, variando entre 18 e 90 anos, com um desvio padrão de 11,65 anos. Entre 30 e 50 anos estão 49,7% dos servidores, com 41,9% entre 50 e 70 anos, 8,1% entre 18 e 30 anos, e apenas 0,4% acima de 70 anos.

A remuneração média mensal é de R\$ 9.913, com uma mediana de R\$ 8.078 e desvio padrão de R\$ 6.202. A maior parte dos servidores, 60,3% recebem até R\$ 10 mil, 31,1% entre R\$ 10 mil e R\$ 20 mil, 8,3% entre R\$ 20 mil e 30 mil, 0,3% entre R\$ 30 mil e R\$ 40 mil, e

0,003% acima de R\$ 40 mil. Dentre as maiores remunerações, 17 servidores receberam acima de R\$ 40 mil, nas ocupações de ministros, delegados e médicos.<sup>8</sup>

### 1.5.2 Efeitos da automação sobre as ocupações do Executivo Federal

Avalia-se então os efeitos quantitativo da automação sobre as ocupações do Executivo Federal a partir das estimativas para a propensão à automação obtidas considerando a fronteira tecnológica de automação. Atribui-se o rótulo de “alta propensão à automação” às ocupações no quartil superior da distribuição de ocupações públicas, ou seja, 96 das 389 ocupações.

De maneira desagregada, apresenta-se as ocupações da maior à menor propensão, bem como a quantidade e características de escolaridade e remuneração dos servidores. O resultado de propensão à automação estimado para as ocupações do Executivo Federal deve ser lido como uma escala ordinal, e não cardinal. Assim, a propensão à automação não representa a probabilidade em si, mas ordena as ocupações da maior à menor propensão à automação. Em caso de empate, considerou-se a maior escolaridade média das ocupações para diferenciá-las, com base no relato de outros autores, em que a automação tende a impactar mais as profissões de menor qualificação (FREY; OSBORNE, 2017; ARNTZ; GREGORY; ZIERAHN, 2016).

A Figura 3.a) mostra a distribuição de ocupações em relação à propensão de automação, ou seja, representa o número de ocupações situadas em cada faixa. As ocupações na cor azul escuro, acima de 0,87 representam as 96 ocupações em alta propensão à automação. Para fins de visualização, omitiu-se as 12 ocupações dispersas abaixo de 0,6.

A Figura 3.b) mostra a distribuição do número de servidores ao longo da propensão à automação. Do total de 521.701 servidores analisados, considera-se que 104.670, ou seja, 20% do total de servidores encontram-se em ocupações consideradas de alta propensão à automação, representados na porção azul mais escura do gráfico.

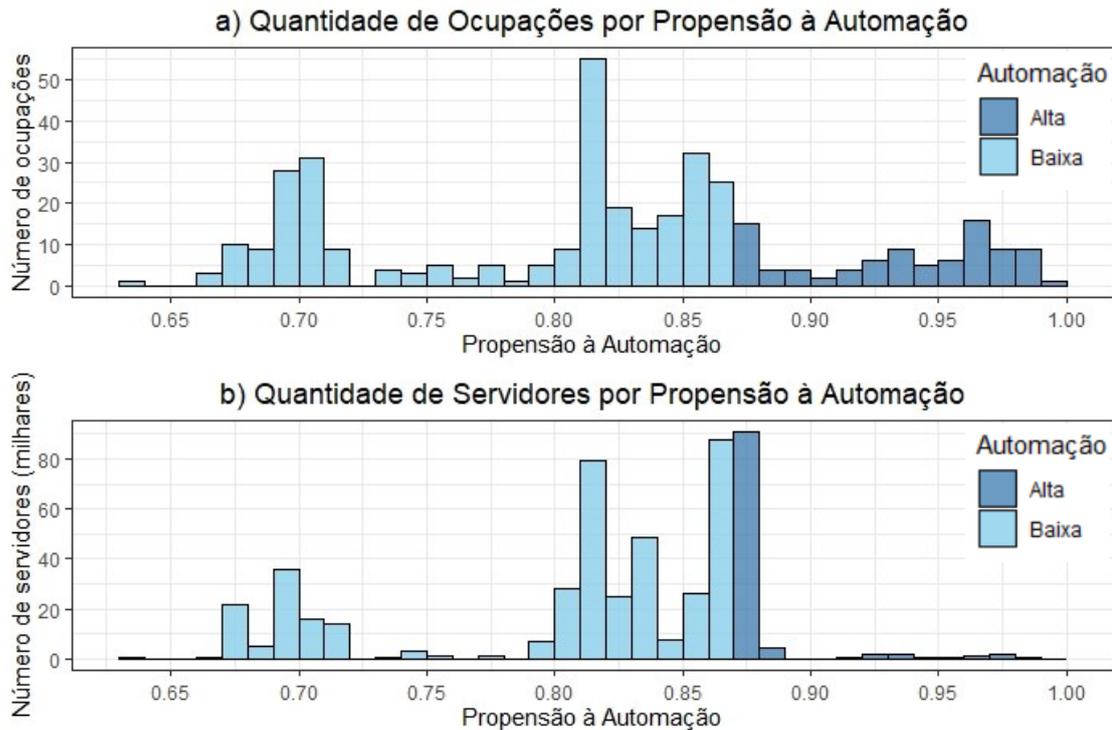
Analisando-se a distribuição dos servidores nas ocupações, com uma propensão à automação calculada entre 0,87 a 0,88 há 90.696 servidores, em 15 ocupações. Nessa faixa, encontram-se ocupações com grande quantidade de servidores, como assistente administrativo (73.208 servidores), auxiliar de escritório (8.022) e datilógrafo (4.559). Isso explica o pico

---

<sup>8</sup> Há 6.877 registros que apresentam salários zerados, mas que se referem a servidores que recebem seus pagamentos por sistemas alternativos ao SIAPE, por exemplo médicos residentes e integrantes do programa Mais Médicos.

observado no gráfico de distribuição da quantidade (2.b). Para as ocupações entre 0,87 e 0,88 os anos médios de estudo são de 13,77, com remuneração média de R\$ 5.724.

Figura 3 – Distribuição de ocupações e servidores por propensão à automação<sup>9</sup>.



Fonte: elaboração própria.

De 0,88 a 0,95 são 34 ocupações, que somam 9.063 servidores. Destaca-se nessa faixa as ocupações de motorista de furgão ou veículo similar (4.703), trabalhador agropecuário em geral (1.511) e auxiliar de biblioteca (1.123). Na faixa mais elevada, a partir de 0,95, são 41 ocupações, com um total de 3.932 servidores. A escolaridade nessa faixa é de 10,82 anos de estudo, com remuneração média de R\$ 5.275. Destaca-se as ocupações de carpinteiro (687), servente de obras (441) e pedreiro (306). A escolaridade nessa faixa é de 11,67 anos, com uma remuneração média de R\$ 5.452.

Assim, ao realizar-se a comparação entre o grupo de ocupações consideradas em alta propensão com as demais, a média de escolaridade para as de alta é de 13,42 anos, em relação a 15,83 para as demais. Em relação a remuneração, a média é de R\$ 5.683 para as ocupações de alta, comparadas à R\$ 10.975 para as demais. Dessa forma, mostra-se que as ocupações em

<sup>9</sup> A lista completa de ocupações por propensão à automação e rotinas para estimação são oferecidas por contato direto com o autor.

alta propensão à automação são as que possuem menor nível de escolaridade e menor média salarial.

A Tabela 3 traz as ocupações com mais de 50 trabalhadores ordenadas de forma decrescente, a partir da mais propensa à automação. Considera-se a quantidade de servidores acima de 50 pois há diversas ocupações com um baixo número de servidores não relevantes para análise. Mostra-se ainda a quantidade de servidores do Executivo Federal em cada ocupação, os anos médios de estudo e a remuneração média desses servidores.

Tabela 3 – Ocupações ordenadas por propensão à automação – decrescente\*.

Título da Ocupação	Código CBO	Propensão Automação	Quantidade	Anos de Estudo	Remuneração Média
Técnico de sistemas audiovisuais	373130	0,9845	58	10,78	4.990,92
Assistente de operações audiovisuais	373145	0,9845	88	11,28	5.941,36
Operador de mídia audiovisual	373105	0,9845	51	12,78	4.629,56
Cenotécnico (cinema, vídeo, televisão, teatro e espetáculos)	374205	0,9814	89	13,76	7.545,98
Técnico em programação visual	371305	0,9780	291	16,35	7.346,29
Técnico gráfico	371310	0,9757	267	13,08	6.082,82
Armador de estrutura de concreto armado	715315	0,9736	285	12,29	7.830,41
Pedreiro	715210	0,9732	306	9,91	4.188,65
Pintor de obras	716610	0,9731	223	10,06	4.343,72
Carpinteiro	715505	0,9727	687	10,37	5.697,34

\*Ocupações com número de servidores acima de 50.

Fonte: elaboração própria.

Observa-se a predominância de ocupações técnicas de sistemas audiovisuais e gráfica, além de servidores da construção civil, como armador, pedreiro, pintor e carpinteiro. Em geral, são ocupações de baixa escolaridade e todas com remuneração abaixo da média de R\$ 9.913 para o total de ocupações. Essa tendência está em linha com a conclusão de outras pesquisas que consideram um maior impacto da automação sobre as profissões de menor qualificação e menor nível salarial (ARNTZ; GREGORY; ZIERAHN, 2016; FREY; OSBORNE, 2017, ALBUQUERQUE *et al.*, 2019a).

A Tabela 4 traz as ocupações com mais de 50 trabalhadores ordenadas de forma crescente, a partir da menos propensa à automação, com as respectivas quantidades de trabalhadores do Executivo Federal em cada ocupação, os anos médios de estudo, a remuneração média desses servidores.

Tabela 4 – Ocupações ordenadas por propensão à automação – crescente\*.

Título da Ocupação	Código CBO	Propensão Automação	Quantidade	Anos de Estudo	Remuneração Média
Pesquisador de engenharia elétrica e eletrônica	203215	0,3966	453	18,99	14.453,94
Pesquisador de engenharia e tecnologia (outras áreas da engenharia)	203210	0,3966	198	17,04	11.750,44
Pesquisador em saúde coletiva	203320	0,4009	2675	19,23	16.253,15
Pesquisador em ciências sociais e humanas	203505	0,4060	4478	18,61	15.276,72
Pesquisador em ciências da educação	203515	0,4060	252	17,52	11.469,20
Pesquisador em metrologia	201205	0,4184	518	17,95	15.709,39
Perito criminal	204105	0,5590	1089	15,02	27.111,66
Biólogo	221105	0,6341	438	17,68	10.516,01
Gerente de serviços de saúde	131210	0,6638	800	17,38	13.582,34
Psicólogo clínico	251510	0,6704	1784	16,53	8.659,57

\*Ocupações com número de trabalhadores acima de 50.

Fonte: elaboração própria.

Verifica-se dentre as ocupações com menor propensão à automação profissionais de alta escolaridade e elevada remuneração, como pesquisadores de áreas diversas, perito criminal, gerência de serviços de saúde e psicólogo clínico.

As atividades mais comuns entre os pesquisadores são as que envolvem desenvolvimento de novos materiais, produtos, processos e métodos, conforme descrição da CBO 2002. Além disso, há atividades de identificação de oportunidades, execução de projetos de pesquisa e prestação de consultoria técnica. Essas atividades estão na fronteira do conhecimento e longe de possibilitarem uma padronização em seus processos, dada a elevada complexidade das tarefas e necessidade de elementos de criatividade e inovação para que sejam executados. Atividades de disseminação de conhecimento também são centrais às atividades de pesquisadores, ao orientar trabalhos de pesquisa, coordenar seminários, congressos e cursos em geral para capacitar equipes e futuros pesquisadores.

Ainda, entre as ocupações com mais baixa propensão à automação estão profissionais do conhecimento relacionados às ciências sociais e da saúde, como economistas, sociólogos, geógrafos, biólogos, psicólogos e antropólogos. Profissionais de engenharia, gestão e comunicação como gerentes de produção e de serviços de saúde, relações públicas, publicitários e redatores. Essas ocupações desempenham atividades centrais para o desenvolvimento das próprias tecnologias de automação, que ao ganharem espaço e importância no mercado de

trabalho, poderão demandar mais esforços e investimentos para a continuidade da sua evolução e disseminação pela sociedade.

### 1.5.3 Efeitos da automação por órgão superior

Após a investigação das ocupações em nível desagregado, é de interesse analisar a distribuição da automação por órgão superior do Executivo Federal. Dadas as diferenças na demanda por profissionais dentro de cada órgão, como foco em diferentes áreas como educação, saúde ou segurança, o efeito da automação é heterogêneo entre os órgãos.

O SIAPE apresenta informações para 27 órgãos superiores aos quais estão vinculados 208 órgãos que incluem: universidades e institutos federais, previdência e seguridade social, agências de inteligência e polícia, agências de controle, regulação e fiscalização, fundações e instituições de pesquisa e fomento, entre outros órgãos da administração pública. Exclui-se da análise os militares e sociedades empresárias.

Ressalva-se a presença de ministérios e ocupações remodeladas em anos posteriores à base de dados do SIAPE, de dezembro de 2017. A exemplo de datilógrafo, ocupação com elevado número de servidores, mas cujos cargos vagos e que vierem a vagar ficaram extintos, com vedação de abertura de novo concurso público, a partir do Decreto nº 9.262/2018 (BRASIL, 2018).

A Tabela 5 traz o resumo da automação nos cinco órgãos superiores com maior número de servidores no Executivo Federal. A última linha da Tabela 4 traz o resultado para o conjunto de todos os servidores, em que 104.670 dos 521.701 servidores analisados estão em ocupações com alta propensão à automação, ou seja, 20,1%. Em termos da remuneração em dezembro de 2017, os servidores em alta automação representam R\$ 595 milhões do total de R\$ 5.172 milhões, ou seja, 11,5% da remuneração total do Executivo Federal.

Identifica-se o Ministério da Educação (MEC) como o órgão superior com o maior número de servidores, assim como o maior número em ocupações com alta propensão à automação: 78 de 272 ocupações que compõe o órgão. Nessas ocupações estão 47.296 do total de 252.272 servidores, ou seja, 18,8%. Em termos salariais, são 9,5% do total da remuneração em ocupações em alta propensão.

Dentre as ocupações do Ministério da Educação classificadas como em alta propensão à automação estão: assistente administrativo (33.418), auxiliar de escritório (6.189), auxiliar de biblioteca (1.112), trabalhador agropecuário em geral (906), motorista de furgão ou veículo

similar (701) e outras 73 ocupações que contém 4.970 servidores. Os servidores nos cargos de assistente administrativo, auxiliar de escritório e motorista de furgão ou veículo similar ocupam posições de destaque entre as com maiores quantidades de servidores em alta propensão à automação nos demais Ministérios.

Tabela 5 – Efeitos da automação por órgão superior do Executivo Federal.

Órgão Superior	Quantidade Automação	Quantidade Total	Percentual Automação	Massa Salarial Automatizável (milhões R\$)	Massa Salarial (milhões R\$)	Percentual Automatizável
Ministério da Educação	47.296	252.272	18,8%	222	2.337	9,5%
Ministério da Saúde	11.904	66.465	17,9%	72	474	15,3%
Min. do Desen. Social	1.727	32.358	5,3%	17	331	5,1%
Ministério da Fazenda	5.295	29.815	17,8%	30	489	6,1%
Ministério da Justiça	3.816	29.273	13,0%	23	400	5,7%
Outros (22)	34.632	111.518	31,1%	231	1.141	20,2%
TOTAL	104.670	521.701	20,1%	595	5.172	11,5%

Fonte: elaboração própria.

O Ministério da Saúde (MS) contém 26 das 129 ocupações em alta propensão à automação, o que representa 11.904 do total de 66.465 servidores, ou seja, 17,9%. É seguido na quantidade total de servidores por Ministério do Desenvolvimento Social (MDS), com 1.727 do total de 32.358 servidores, 5,3%, do Ministério da Fazenda (MF), com 5.295 do total de 29.815 servidores, 17,8% e do Ministério da Justiça (MJ), com 3.816 do total de 29.273 servidores, 13%.

Em geral, a ênfase no efeito quantitativo revela as ocupações mais propensas à automação com maior quantidade de servidores. As ocupações classificadas em alta propensão à automação estão abaixo da média de escolaridade e abaixo da média de remuneração do Executivo Federal como um todo: 15,4 anos e R\$ 9.913. Essa análise vai ao encontro da literatura de automação, mostrando que as ocupações no serviço público com menores níveis médios de escolaridade e menores remunerações são mais propensas à automação.

## 1.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Ensaio I estimou a propensão à automação das ocupações do Poder Executivo Federal no Brasil, permitindo a análise dos efeitos da automação por ocupações e órgãos do funcionalismo público. Trata-se do primeiro estudo sobre automação de que se tem notícia em que o foco foi o emprego público. Vale notar que a metodologia aqui desenvolvida pode ser aplicada a outras esferas e poderes do setor público brasileiro ou mesmo de outros países.

Além dos resultados obtidos, este estudo inova ao apresentar um método de estimação, intitulado *Bartik Occupational Tasks* (BOT), que permite estimar a propensão a automação sem contar com critérios subjetivos. O pressuposto do método é que o setor público segue, com defasagem, as tendências de automação do setor privado na fronteira tecnológica do país.

A partir das tendências de automação encontradas para as ocupações no setor privado, mostrou-se que cerca de 104,5 mil dos 521,7 mil servidores do Executivo Federal estudados desempenham ocupações em alta propensão à automação. Assim, 20% do total de servidores encontram-se em ocupações com elevado potencial a terem suas tarefas atribuídas à sistemas automatizados no futuro próximo.

As ocupações com maior propensão à automação são ocupações técnicas de sistemas audiovisuais e gráfica, além de servidores da construção civil, como armador, pedreiro, pintor e carpinteiro. Em geral, essas ocupações possuem baixa escolaridade e remuneração abaixo da média, de R\$ 9.913. Essa conclusão está em linha com a literatura que considera um maior impacto da automação sobre as profissões de menor qualificação e menor nível salarial (ARNTZ; GREGORY; ZIERAHN, 2016; FREY; OSBORNE, 2017, ALBUQUERQUE *et al.*, 2019a).

As ocupações com baixa propensão à automação são aquelas que, em geral, exigem alta intensidade de tarefas analíticas ou pouco repetitivas. Entre elas estão as constituídas por pesquisadores e profissionais relacionados às ciências naturais, sociais e da saúde, como engenheiros, economistas, sociólogos, geógrafos, biólogos, psicólogos e antropólogos. Ainda, há profissionais de gestão e comunicação como gerentes de produção e de serviços de saúde, relações públicas, publicitários e redatores. Essas ocupações são consideradas de alta qualificação e alta remuneração.

Os efeitos quantitativos da automação no setor público mostraram-se expressivos devido ao elevado número de profissionais em ocupações de alta propensão à automação, como assistentes administrativos, auxiliares de escritório, de biblioteca e motoristas. Em termos orçamentários, relativo a dezembro de 2017, os servidores em alta automação receberam uma massa salarial de R\$ 594 milhões do total de R\$ 5,2 bilhões da folha mensal do Executivo Federal, ou seja, 11,5% do total.

## REFERÊNCIAS

- ACEMOGLU, D.; AUTOR, D. Skills, tasks and technologies: Implications for employment and earnings. In: **Handbook of Labor Economics** (Vol. 4), 2011.
- ADAMCZYK, W. B.; MONASTERIO, L.; FOCHEZATTO, A. Automation in the future of public sector employment: the case of Brazilian Federal Government. **Technology in Society**, v. 67, p. 101722, 2021.
- ALBUQUERQUE, P. H. M.; SAAVEDRA, C. A. P. B.; MORAIS, R. L.; ALVES, P. F.; PENG, Y. Na era das máquinas, o emprego é de quem? Estimação da probabilidade de automação de ocupações no Brasil. **Texto para Discussão 2457**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2019a.
- ALBUQUERQUE, P. H. M.; SAAVEDRA, C. A. P. B.; MORAIS, R. L.; PENG, Y. The Robot from Ipanema goes Working: Estimating the Probability of Jobs Automation in Brazil, **Latin American Business Review**, 20:3, 227-248, 2019b.
- ARNTZ, M.; GREGORY, T.; ZIERAHN, U. The risk of automation for jobs in OECD countries. **OECD Social, Employment and Migration Working Papers**, No. 189. Paris: OECD Publishing, 2016.
- ARNTZ, M.; GREGORY, T.; ZIERAHN, U. Revisiting the risk of automation. **Economics Letters**, v. 159, p. 157-160, 2017.
- ATHEY, S.; IMBENS, G. W. Machine learning methods that economists should know about. **Annual Review of Economics**, v. 11, p. 685-725, 2019.
- AUTOR, D., KATZ, L. F.; KEARNEY, M. S. The polarization of the US labor market. **The American economic review**, v. 96, n. 2, p. 189-194, 2006.
- AUTOR, D. The polarization of job opportunities in the US labor market: Implications for employment and earnings. **Center for American Progress and The Hamilton Project 6**, p. 11-19, 2010.
- AUTOR, D. Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation. **Journal of Economic Perspectives**, v. 29, n. 3, p. 3-30, 2015.
- BARTIK, T. J. **Who Benefits from State and Local Economic Development Policies?** Kalamazoo, Michigan: W. E. Upjohn Institute for Employment Research, 1991.
- BANCO MUNDIAL. **Gestão de Pessoas e Folha de Pagamentos no Setor Público Brasileiro: o Que Os Dados Dizem**. Brasília: Banco Mundial, 2019.
- BLANCHARD, O. J.; KATZ, L. F. Regional Evolutions. **Brookings Papers on Economic Activity**, v. 1, p. 1-75, 1992.
- BLINDER, A. S. How many US jobs might be offshorable? **World Economics**, v. 10, n. 2, p. 41-78, 2009.

BRASIL. **Decreto nº 9.262, de 9 de janeiro de 2018**. Extingue cargos efetivos vagos e que vierem a vagar dos quadros de pessoal da administração pública federal, e veda abertura de concurso público e provimento de vagas adicionais para os cargos que especifica. Diário Oficial da União, v. 7, p. 5-42, 2018.

BRASIL, MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO. **Classificação Brasileira de Ocupações (CBO)**. Portal Emprega Brasil, 2019. Disponível em: <https://empregabrasil.mte.gov.br/76/cbo/>. Acesso em: 20 de jun. 2020.

BREIMAN, L. Random Forests. **Machine Learning**, v. 45(1), p. 5-32, 2001.

BRYNJOLFSSON, E.; McAFFEE, A. **The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies**. WW Norton & Company, 2014.

COMISSÃO NACIONAL DE CLASSIFICAÇÃO. **Classificação Brasileira de Ocupações – CBO**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. Disponível em: <https://concla.ibge.gov.br/classificacoes/por-tema/ocupacao/classificacao-brasileira-de-ocupacoes.html>. Acesso em: 22 de jun. 2020.

DIX-CARNEIRO, R. Trade liberalization and labor market dynamics. **Econometrica**, v. 82, n. 3, p. 825-885, 2014.

DIX-CARNEIRO, R.; SOARES, R.R.; ULYSSEA, G. Economic shocks and crime: Evidence from the brazilian trade liberalization. **American Economic Journal: Applied Economics**, v. 10, n. 4, p. 158-95, 2018.

DUNN, E. S. A statistical and analytical technique for regional analysis. **Papers in Regional Science**, v. 6, n. 1, p. 97-112, 1960.

FIRPO, S.; FORTIN, N. M.; LEMIEUX, T. Occupational tasks and changes in the wage structure. **IZA Discussion Paper**, n. 5542, 2011.

FREY, C. B.; OSBORNE, M. A. The Future of Employment: how susceptible are jobs to computerisation? **Technological forecasting and social change**, v. 114, p. 254-280, 2017.

GOLDIN, C.; KATZ, L. F. The Origins of Technology-Skill Complementarity. **The Quarterly Journal of Economics**, 113(3), 693–732, 1998.

GOLDSMITH-PINKHAM, P.; SORKIN, I.; SWIFT, H. Bartik instruments: What, when, why, and how. **National Bureau of Economic Research**, 2018.

GOOS, M.; MANNING, A. Lousy and Lovely Jobs: The Rising Polarization of Work in Britain. **Review of Economics and Statistics** 89(1): 118–33. 2007.

GOOS, M., MANNING, A.; SALOMONS, A. Explaining Job Polarization: Routine-Biased Technological Change and Offshoring. **American Economic Review**, 104(8): 2509–26. 2014.

GRILICHES, Z. Capital-Skill Complementarity. **The Review of Economics and Statistics**, 51(4), 465–468, 1969.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua – PNAD 2019**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/17270-pnad-continua.html>. Acesso em: jun. 2020.

INVESTESP. Por que SP. Disponível em: <https://www.investe.sp.gov.br/por-que-sp/>. Acesso em: 15 de jun. de 2020.

JAEGER, D. A.; RUIST, J.; STUHLER, J. Shift-share instruments and the impact of immigration. **National Bureau of Economic Research**, 2018.

JAIMOVICH, N.; SIU, H. E. Job polarization and jobless recoveries. Technical Report, NBER Working Paper No. 18334. **National Bureau of Economic Research**, 2012.

JENSEN, J. B.; KLETZER, L. G. Measuring the task content of offshorable services jobs, tradable services and job loss. **Labor in the New Economy**, p. 309-335, 2010.

KAPLAN, A.; HAENLEIN, M. Rulers of the world, unite! The challenges and opportunities of artificial intelligence. **Business Horizons**, 63(1), p. 37-50, 2020.

KUBOTA, L. C.; MACIENTE, A. N. Propensão à automação das tarefas ocupacionais no Brasil. **Radar: tecnologia, produção e comércio exterior**, v. 61. Brasília: IPEA, 2019.

MACEDO, G.; MONASTERIO, L. Local multiplier of industrial employment: Brazilian mesoregions (2000-2010). **Brazilian Journal of Political Economy**, 36(4), 827-839, 2016.

MACIENTE, A. N.; RAUEN, C. V.; KUBOTA, L. C. Tecnologias digitais, habilidades ocupacionais e emprego formal no Brasil entre 2003 e 2017. **Mercado de Trabalho: conjuntura e análise**, v. 66. Brasília: IPEA, 2019.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **A Future That Works: automation, employment, and productivity**. McKinsey & Company, 2017.

Mercado de tecnologia movimentou R\$ 467,8 bilhões no Brasil em 2017. **Valor Econômico**, 20 de abril de 2018. Disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2018/04/20/mercado-de-tecnologia-movimentou-r-4678-bilhoes-no-brasil-em-2017.ghtml>. Acesso em: 15 de jun. 2020.

O\*NET. **Content Model Reference**. O\*NET Resource Center. 2019. [<https://www.onetcenter.org/content.html>]

QAISER, S.; ALI, R. Text mining: use of TF-IDF to examine the relevance of words to documents. **International Journal of Computer Applications**, v. 181, n. 1, p. 25-29, 2018.

RELAÇÃO ANUAL DE INFORMAÇÕES SOCIAIS. **Manual de Orientação da RAIS – ano-base 2018**. Brasília: MTb, SPES, 2019.

RAMOS, J. Using TF-IDF to determine word relevance in document queries. **Proceedings of the first instructional conference on machine learning**, v. 242, p. 133-142, 2003.

SIAPENET. **Portal Siapenet**. Apresentação. Disponível em: [www.siapenet.gov.br/portal/servico/Apresentacao.asp](http://www.siapenet.gov.br/portal/servico/Apresentacao.asp). Acesso em: 13 maio 2020.

SPITZ-OENER, A. Technical change, job tasks, and rising educational demands: looking outside the wage structure. **Journal of Labor Economics**, v. 24, n. 2, p. 235-270, 2006.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The Future of Jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution**, 2016.

## ENSAIO II – AUTOMAÇÃO E APOSENTADORIA DE SERVIDORES NO GOVERNO EXECUTIVO FEDERAL BRASILEIRO<sup>10</sup>

### Resumo

Nas próximas três décadas, o governo federal brasileiro terá de enfrentar o desafio de reposição de sua força de trabalho decorrente do envelhecimento e aposentadoria dos atuais servidores. A fim de auxiliar nessa transição, o Ensaio II constrói projeções para o déficit de servidores por motivos de aposentadoria e os déficits esperados após a adoção de soluções de automação e realocação de servidores. Aplica-se uma metodologia de aproximação da data de aposentadoria de cada servidor e as estimativas de automação do *Bartik Occupational Tasks* (BOT). As análises mostram que cerca de 232 mil servidores estarão aptos a se aposentar a partir de 2030. O déficit com necessidade de reposição pode cair para 179 mil por meio da adoção de tecnologias de automação e 128 mil com a livre realocação de servidores.

**Palavras-chave:** Desemprego tecnológico; Automação; Setor público; Aposentadoria.

### Abstract

In the next three decades, Brazil's federal government will have to face the challenge of replenishing its workforce due to aging and retirement of most public workers. In order to inform this transition, the Essay II builds deficit projections to exiting workers and deficits after reallocation. A methodology to approximate future dates of retirement of each worker is built and Bartik Occupational Tasks (BOT) provide automation estimates. The analysis shows that 232 thousand workers will be able to retire after 2030. The deficit after automation can fall to 179 thousand, and 128 thousand with free reallocation of public workers.

**Keywords:** Technological unemployment; Automation; Public sector; Retirement.

**JEL:** J24 - Human Capital • Skills • Occupational Choice • Labor Productivity.

---

<sup>10</sup> O Ensaio II foi realizado a partir de metodologia desenvolvida na pesquisa “Impactos da Automação no Executivo Federal no Brasil” em desenvolvimento no período entre janeiro e dezembro de 2020, a pedido da Escola Nacional de Administração Pública – ENAP.

## 2.1 INTRODUÇÃO

Reformas administrativas e previdenciárias têm sido pautadas no sentido de aproximar o serviço público federal brasileiro a sistemas mais efetivos na gestão da força de trabalho. Segundo diagnóstico do Banco Mundial (2019), a folha de pagamentos contém muitos servidores concentrados nos últimos níveis de carreira e próximos à aposentadoria. No governo federal, espera-se que cerca de 26% dos vínculos efetivos venham a se aposentar até 2022, gerando expressiva necessidade de reposição de trabalhadores em áreas prioritárias à continuidade dos serviços públicos (BANCO MUNDIAL, 2019).

Ao mesmo tempo, mudanças tecnológicas avançam na transformação das ocupações no setor privado. O Ensaio I mostrou que cerca de 20% do total de servidores estão em ocupações com elevado potencial a terem suas tarefas atribuídas a sistemas automatizados nas próximas décadas. Dos 521 mil servidores civis analisados na base de dados do Sistema Integrado de Administração de Pessoal (SIAPE), 105 mil exercem ocupações em alta propensão à automação.

O Ensaio II tem o objetivo de analisar se as tecnologias de automação podem representar soluções alternativas para a reposição de servidores por motivos de aposentadoria nas próximas três décadas. Para esse fim, constrói-se projeções próprias para o déficit de servidores, e os déficits esperados após a adoção de soluções de automação e realocação de servidores.

As análises mostram que cerca de 232,4 mil (44,7%) dos servidores estarão aptos a se aposentar a partir de 2030, com 178,8 mil (34,3%) cargos em aberto após a automação e, 127,9 mil (24,6%) cargos com necessidade de reposição após a livre realocação de servidores. Mostra-se também a evolução dos déficits ao longo das décadas seguintes. Discute-se ainda as restrições para a implementação de tecnologias de automação e restrições legais que tornam rígido o processo de realocação de servidores. Dessa forma, este ensaio contribui para a promoção de políticas de aumento de produtividade por meio da inserção de novas tecnologias, transmissão de conhecimento e retenção de pessoas em um contexto de avanço da automação.

A seção seguinte traz a revisão de literatura e as regras usadas para previsão de aposentadoria no serviço público federal. A seção 2.2 traz a metodologia apresentando as fontes de dados, a simulação de aposentadoria e as estimativas de automação. A seção 2.3 traz os resultados da decisão de aposentadoria, os déficits esperados, a interação com a automação e seus efeitos sobre as ocupações. A seção 2.4 faz a discussão dos resultados e conclui-se em 2.5 com as considerações finais.

## 2.2 LITERATURA PARA PREVISÃO DE APOSENTADORIA

A simulação realizada no Ensaio II baseia-se em etapas da metodologia de Barbosa-Filho, Pessôa e Afonso (2009), Braga, Firpo e Gonzaga (2009) e Becker e Kassouf (2012). Os estudos citados realizaram o cálculo do Valor Presente de Contrato de Trabalho (VPCT), com a finalidade de analisar os diferenciais de remuneração entre os setores público e privado ao longo da vida. O VPCT requer a aproximação da data de aposentadoria de cada trabalhador, etapa aqui empregada, para a obtenção dos rendimentos no período de inatividade dos trabalhadores.

A fim de atualizar e dar maior precisão às simulações, é necessário compreender as mudanças recentes das regras do Regime Próprio de Previdência Social (RPPS)<sup>11</sup>. O RPPS cobre todos os servidores públicos com cargo efetivo na esfera federal, exceto servidores que possuem regulamentação previdenciária específica, como forças armadas, corpo de bombeiros e polícia militar.

Segundo a Emenda Constitucional (EC) 103/2019, a aposentadoria pelo RPPS pode ser obtida de cinco formas: aposentadoria por invalidez permanente; aposentadoria especial por exposição à agentes nocivos; aposentadoria compulsória na idade teto (hoje em 75 anos); aposentadoria voluntária por idade, com proventos proporcionais ao tempo de contribuição; e aposentadoria voluntária para quem adquiriu os requisitos mínimos de idade e tempo de contribuição.

As regras para obtenção dos benefícios têm sido alteradas nas últimas décadas, levando em consideração o equilíbrio financeiro e atuarial do sistema previdenciário. Para os servidores em atividade, as regras mais relevantes são dadas pela Constituição Federal de 1988 e EC 3/1993, EC 20/1998, EC 41/2003, EC 47/2005 e EC 103/2019.

O histórico das mudanças nas regras de aposentadoria para os homens é mostrado na Tabela 1, enquanto a Tabela 2 traz as regras para as mulheres. Desde a CF de 1988, entende-se que a diferenciação de idade de acesso a aposentadorias para mulheres e homens é justificada como compensação ao sobretrabalho das mulheres. Ao considerar o trabalho não remunerado, como afazeres domésticos e de cuidado familiar, as mulheres exercem uma média de 54,7 horas de trabalho por semana, contra 46,7 horas para os homens (MOSTAFA *et al.*, 2017).

---

<sup>11</sup> Uma revisão detalhada da evolução das regras de aposentadoria é feita por Gomide (2014). Impactos fiscais das reformas previdenciárias foram estudados por Magalhães e Bugarin (2004), Mascarenhas *et al.* (2004), Amaral *et al.* (2013), Rodrigues e Afonso (2015) e Schettini *et al.* (2018).

Tabela 1 – Evolução das regras de aposentadoria voluntária para os *homens*.

	EC 3/1993	EC 20/1998	EC 41/2003 e Lei 10.887/2004	EC 103/2019
Idade compulsória	70 anos	70 anos	70 anos	75 anos**
Idade mínima	-	60 anos	60 anos	65 anos
Tempo de contribuição	-	35 anos	35 anos	25 anos
Tempo de serviço público	35 anos*	10 anos	10 anos	10 anos
Tempo no cargo	5 anos	5 anos	5 anos	5 anos
Base de cálculo	Integralidade da última remuneração	Integralidade da última remuneração	Média das 80% maiores contribuições	60% da média de todas contribuições + 2% excedente***

\* Tempo de serviço total, privado e público.

\*\* Alterado pela Lei Complementar 152/2015.

\*\*\* 60% da média de todas as contribuições mais dois pontos percentuais a cada ano de contribuição que exceder 15 anos, para mulheres, e 20 anos, para homens.

Fonte: elaboração própria.

Tabela 2 – Evolução das regras de aposentadoria voluntária para as *mulheres*.

	EC 3/1993	EC 20/1998	EC 41/2003 e Lei 10.887/2004	EC 103/2019
Idade compulsória	70 anos	70 anos	70 anos	75 anos**
Idade mínima	-	55 anos	55 anos	62 anos
Tempo de contribuição	-	30 anos	30 anos	25 anos
Tempo de serviço público	30 anos*	10 anos	10 anos	10 anos
Tempo no cargo	5 anos	5 anos	5 anos	5 anos
Base de cálculo	Integralidade da última remuneração	Integralidade da última remuneração	Média das 80% maiores contribuições	60% da média de todas contribuições + 2% excedente***

\* Tempo de serviço total, privado e público.

\*\* Alterado pela Lei Complementar 152/2015.

\*\*\* 60% da média de todas as contribuições mais dois pontos percentuais a cada ano de contribuição que exceder 15 anos, para mulheres, e 20 anos, para homens.

Fonte: elaboração própria.

As tabelas trazem a regra geral<sup>12</sup>, sem as diferenças específicas para professores no exercício das funções de magistério na educação infantil, fundamental e médio e servidores em atividade policial. Além disso, há regras de transição para servidores na proximidade da aposentadoria e para aqueles que ingressaram no setor público até datas determinadas em cada reforma.

<sup>12</sup> As regras apresentadas foram revisadas por advogada especializada na área previdenciária.

A Constituição Federal de 1988 instituiu a aposentadoria dos servidores como retribuição aos serviços públicos prestados, garantindo a paridade salarial entre ativos e inativos e integralidade da aposentadoria com base na última remuneração recebida. Como requisito constava o tempo de serviço total, seja privado ou público, de 35 anos para homens e 30 para mulheres. A partir da EC 3/1993, o RPPS adquiriu caráter contributivo, mas ainda sem tempo e idades mínimas e com aposentadoria compulsória aos 70 anos.

A EC 20/1998 introduziu a exigência de tempo mínimo de contribuição para aposentadoria voluntária e possibilitou o regime de previdência complementar para servidores titulares de cargo efetivo. A Lei 12.618/2012 fixou o limite máximo para a concessão de aposentadorias e pensões pelo ao teto do RGPS, permitindo a adesão voluntária à aposentadoria complementar pela criação da Fundação de Previdência Complementar do Servidor Público Federal do Poder Executivo (Funpresp-Exe).

A EC 41/2003 alterou a base de cálculo considerando a média salarial das 80% maiores contribuições. A Lei 10.887/2004 alterou a regra da base de cálculo para o provento da aposentadoria para a média aritmética do período de contribuição, instituindo regras de transição quanto a integralidade dos proventos de servidores que entraram até 1998 e 2003. A EC 47/2005 colocou as regras de transição para a aposentadoria, com extensão da integralidade e paridade a todos os servidores que ingressaram no serviço público até o final de 2014. Assim, servidores que entraram antes de 16/12/1998 e 31/12/2003, possuem regras diferenciadas, mas ainda com direito à paridade e integralidade dos proventos.

Além disso, a EC 41/2003 instituiu o abono permanência para servidores que alcançaram os requisitos mínimos de aposentadoria, mas desejam que continuar atuando no serviço público. O abono permanência é um incentivo financeiro para a manutenção de servidores em suas funções por meio do adiamento da aposentadoria, evitando assim o pagamento de dupla despesa, uma com o servidor inativo e uma nova contratação para sua substituição (GOMIDE, 2014).

A Regra 85/95 foi introduzida pela Lei 13.183/2015 permite que os servidores optem pela regra mais vantajosa no momento de aposentadoria. A regra permitiu a aposentadoria integral pela soma de idade e tempo de contribuição, inicialmente 85 pontos para mulheres e 95 pontos para homens, com aumento progressivo de um ponto anual, até 90/100 depois de 2026. A Lei 13.183/2015 também elevou a idade de aposentadoria compulsória do servidor para 75 anos.

A EC 103/2019 propôs mudanças para servidores federais como: a elevação da idade mínima para aposentadoria para 62 anos para mulheres e 65 anos para homens; nova fórmula de cálculo dos benefícios como 60% da média salarial de todas as contribuições; possibilidade de alíquotas progressivas, contribuições extraordinárias e nova regra de transição para aposentadoria.

A nova regra de transição para servidores federais manteve o sistema progressivo da soma de idade e anos de contribuição, mas elevou os requisitos. Para as mulheres a soma começa em 86 pontos em 2019 (até 100 pontos em 2033), com idade mínima de 57 anos e tempo mínimo de contribuição de 30 anos. Para os homens, a soma começa em 96 pontos em 2019 (até 105 pontos em 2028), com idade mínima de 65 anos e tempo mínimo de contribuição de 35 anos. Para ambos há um mínimo de 20 anos no serviço público e 5 anos no cargo em que se dará a aposentadoria.

A regra manteve a integralidade do último salário para ingressantes na carreira até o final de 2003, que tenham cumprido a idade mínima de 62 anos para mulheres e 65 para os homens. Ainda, há regras diferenciadas para professores do ensino infantil, fundamental e médio com um desconto de cinco anos na idade mínima e cinco pontos na regra de transição.

Funções policiais civis federais, incluindo polícia rodoviária e agentes penitenciários mantêm o direito à integralidade para ingressantes até a aprovação da EC 103/2019 e tem direito à aposentadoria na idade mínima de 55 anos, para ambos os sexos, cumpridos os tempos mínimos de contribuição. O parecer vinculante nº 502/2020 as reconhecem como atividade de risco por ocorrências de enfrentamento, justificando a idade mínima reduzida.

Escassos são os estudos que discutem tendências futuras de automação, gestão de pessoas ou aposentadoria no serviço público. A maior parte dos estudos foca nas questões de sustentabilidade orçamentária. Dentre eles, Schettini *et al.* (2018) alerta que a política de reposição futuramente adotada pelo governo possui um peso tão grande quanto as reformas previdenciárias. A sustentabilidade da reposição do elevado número de servidores depende da revisão de salários iniciais e políticas de progressão na carreira a serem adotados.

Além disso, mesmo que as mudanças na idade mínima para aposentadoria, a exemplo das realizadas na EC 103/2019, se mostrem efetivas para redução de despesa de médio e longo prazo, Caetano *et al.* (2016) consideram que os gastos previdenciários continuariam em acelerada trajetória crescente, apontando para a necessidade de realização reformas

previdenciárias adicionais nas próximas décadas. Esses argumentos reforçam a necessidade de busca de alternativas, exploradas nas seções a seguir.

## 2.3 METODOLOGIA

A seção de metodologia apresenta a fonte de dados utilizada no estudo (2.3.1), o procedimento para a simulação de aposentadoria dos servidores do Executivo Federal (2.3.2) e a construção das estimativas de automação (2.3.3).

### 2.3.1 Dados

Dentre as bases de dados relevantes para a execução da pesquisa destaca-se a Classificação Brasileira de Ocupações (2002), a Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) e a base de dados do Sistema Integrado de Administração de Pessoal (SIAPE).

O SIAPE centraliza o processamento da folha de pagamentos dos órgãos das administrações direta, fundacional e autárquica do poder executivo que dependem do Tesouro Nacional para as suas despesas de pessoal. O sistema é responsável por processar o pagamento de servidores, regidos pelo Regime Jurídico Único Federal, pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) e regimes de contratos temporários, estágios, residência médica, entre outros. A base de dados contém informação de servidores ativos, além de aposentados e pensionistas, alocados em órgãos públicos federais em todo o território brasileiro (SIAPENET, 2020).

Primeiramente, foi necessária a padronização da nomenclatura dos cargos do SIAPE, que não são únicas em termos de código, descrição ou ortografia, resultando em 1155 variações de cargos. Para isso, atribuiu-se aos cargos do Executivo Federal os códigos e títulos da Classificação Brasileira de Ocupações (2002), por meio da correspondência entre o CPF do servidor no SIAPE e na RAIS Identificada de 2017.

Por fim, a correspondência foi refinada considerando o código da Classificação Brasileira de Ocupações (CBO) modal para cada cargo do SIAPE<sup>13</sup>, seguido de uma inspeção visual da adequação entre a descrição das atividades das ocupações na CBO e descrição das atividades dos cargos. A compatibilização resultou em 389 ocupações públicas distintas usadas para aplicação das regras de aposentadoria e estimativas de automação.

---

<sup>13</sup> Agradecemos a Danilo Cardoso, Flávio da Vitoria e Pedro Masson, da coordenação geral de Ciência de Dados da ENAP, pelo apoio no acesso e na compreensão da base identificada do SIAPE.

### 2.3.2 Simulação de aposentadoria

A partir do detalhamento das regras apresentado na seção de revisão de literatura, constrói-se estimativas para a data mínima de aposentadoria de cada servidor. O procedimento de simulação foi inspirado nos trabalhos de Braga, Firpo e Gonzaga (2009), Barbosa, Pessôa e Afonso (2009) e Becker e Kassouf (2012), que realizaram aproximações da data de aposentadoria de trabalhadores públicos e privados, com a finalidade de cálculo de diferenciais de rendimentos acumulados ao longo da vida. Atualiza-se as regras usadas anteriormente de acordo com o perfil de servidores afetados e as alterações mais recentes na legislação previdenciária.

Assim, para o cálculo geral de previsão de aposentadoria dos servidores do Executivo Federal utiliza-se uma versão simplificada das regras gerais, ignorando especificidades e regras de transição. Considera-se a manutenção dos seguintes critérios:

- idade de aposentadoria compulsória aos 75 anos;
- idade mínima de 62 anos para mulheres e 65 anos para homens, em geral;
- tempo mínimo de 10 anos a partir do ingresso no serviço público;
- desconto de 5 anos na idade mínima para carreiras de professores; e
- idade mínima de 55 anos para funções policiais.

As projeções são realizadas assumindo-se a ausência de entrada de novos servidores, e desconsiderando a saída de servidores do serviço público por outros motivos além da aposentadoria. A saída do setor público pode ocorrer ainda por morte, desligamento, atração pelo setor privado e pedidos de afastamento temporário ou definitivo. Assim, os déficits calculados são vistos como o mínimo de reposição necessária para a manutenção constante da força de trabalho. O número residual de servidores que não puderam ser avaliados por incompletude de informações, menos de 0,2% dos casos, foram mantidos no total de ativos.

A fim de analisar os efeitos potenciais da introdução de tecnologias de automação sobre a necessidade de reposição de trabalhadores, constrói-se três medidas de déficit de servidores: D1 representa o déficit absoluto de servidores pelo motivo de aposentadoria; D2 é o déficit gerado pelas aposentadorias contando que os servidores aposentados em ocupações de alta propensão à automação não precisarão ser repostos por novos servidores; D3 é igual a D2 menos a reposição do déficit com servidores ativos que executam ocupações em alta propensão

à automação, mediante livre realocação. Em qualquer ano, pode-se visualizar D1, D2 e D3 como:

$$\underbrace{\text{Déficit por Aposentadoria com Automação e Realocação}}_{(D3)} = \underbrace{\text{Servidores em Aposentadoria}}_{(D1)} - \underbrace{\text{Servidores em Aposentaria e Alta Automação}}_{(D2)} - \text{Servidores Não Aposentáveis em Alta Automação} \quad (1)$$

O déficit de servidores federais para a manutenção da estrutura atual poderá ser ainda maior do que o calculado. A perfeita mobilidade é uma suposição forte, dadas as regulamentações de desvio de função e alocação dos servidores atuais, que dependem de tempo e modificações legais para serem flexibilizadas. A saída de servidores por outros motivos além da aposentadoria também pode aumentar as necessidades de reposição de servidores.

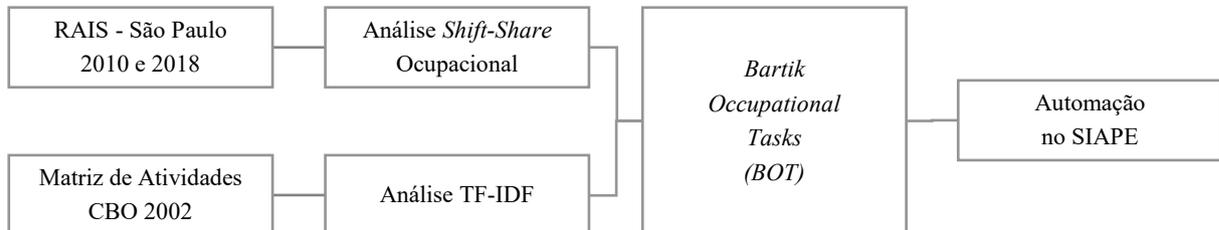
Os efeitos da automação poderão afetar servidores ativos e em aposentadoria nas próximas décadas. Assim, aplica-se as estimativas de automação para cada ocupação calculadas no Ensaio I a fim de investigar a possibilidade de mitigação nos déficits de servidores por meio do desenvolvimento e adoção de novas tecnologias.

### 2.3.3 Estimativas de automação

O Ensaio I realizou a construção do método *Bartik Occupational Tasks* (BOT) com a finalidade de investigar os efeitos da automação sobre o futuro do emprego do setor público brasileiro. O método foi desenvolvido com algoritmos de *Natural Language Processing* e *Machine Learning* para sintetizar e extrair informações quantitativas a partir dos textos que listam as tarefas envolvidas em cada uma das 2.627 ocupações da CBO e realizar a inferência da propensão à automação sobre 389 ocupações do serviço público federal. A Figura 1 apresenta uma visão geral do método aplicado anteriormente.

Em resumo, a RAIS de São Paulo é usada para encontrar o efeito diferencial por meio do método *Shift-Share*, enquanto a Matriz de Atividades da CBO passa pela análise TF-IDF. Os resultados de efeito diferencial e TF-IDF se unem para a construção do método BOT, que estima a propensão à automação por meio de um algoritmo de *Random Forest Regression*. O modelo é então usado para realizar a predição para as ocupações do Executivo Federal, cujas informações provêm da base de dados do SIAPE. Nessa etapa, calcula-se o efeito sobre a qualificação e quantidade de servidores em cada ocupação.

Figura 1 – Etapas de estimação da propensão à automação no Executivo Federal.



Fonte: elaboração própria.

Assim, o resultado da classificação de propensão à automação da ocupação não representa uma probabilidade em si, mas ordena as ocupações da maior à menor propensão à automação. Esse resultado deve ser lido como uma escala ordinal, e não cardinal. Denomina-se em “alta propensão à automação” as ocupações localizadas no quartil superior da distribuição de automação. Esse ponto de corte é uma referência que pode ser vista como móvel ao longo do tempo. Quanto mais distante o horizonte de automação, maior o número de soluções tecnicamente viáveis que podem impactar as ocupações.

Ao longo das próximas décadas, as tecnologias de automação devem evoluir para um grupo maior de ocupações, gerando novas possibilidades de aumento de produtividade por transformação, substituição ou aprimoramento das atividades. Adota-se a estimativa mais conservadora do percentil de ocupações em automação, considerando como alta propensão apenas aquelas que atualmente se encontram no quartil superior. Assume-se ainda a pronta e efetiva implementação de tecnologias de automação sem analisar seus custos e viabilidade técnica.

## 2.4 RESULTADOS

A fim de investigar o potencial efeito da adoção das tecnologias de automação sobre a necessidade de reposição de servidores, a seção de resultados é dividida em quatro subseções. Primeiramente, são analisadas as tendências recentes e os motivos por trás da decisão de aposentadoria (2.4.1) e os déficits esperados em cada década (2.4.2). Após, apresentam-se os resultados de aposentadoria e automação (2.4.3), e os efeitos sobre ocupações específicas (2.4.4).

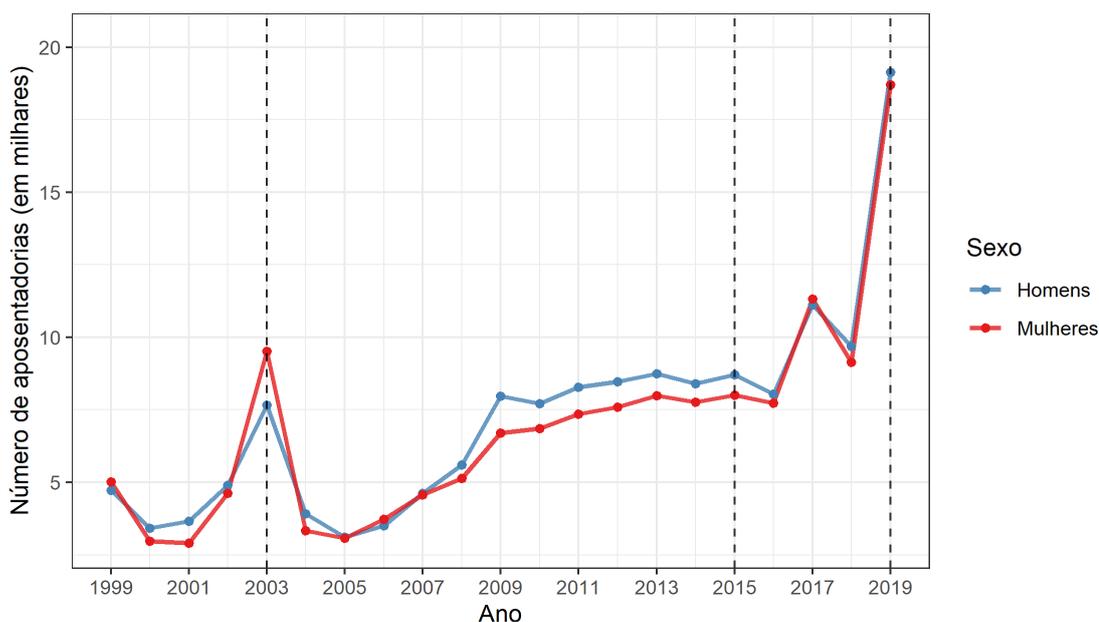
### 2.4.1 A decisão de aposentadoria

A decisão de aposentadoria voluntária de um servidor pode resultar em três cenários: a aposentadoria definitiva, em que o servidor se desvincula completamente do trabalho; o *bridge employment*, em que o servidor passa a exercer atividades distintas do emprego anterior antes de se aposentar em definitivo; e a decisão de adiar a aposentadoria, permanecendo no exercício de suas funções (MENEZES; FRANÇA, 2012).

O foco aqui está em avaliar o comportamento de servidores que se aposentam em definitivo, implicando a sua saída do trabalho público ativo para a inatividade. De acordo com o Painel Estatístico de Pessoal, 96,6% das aposentadorias foram voluntárias e 3,4% por invalidez em 2019. No mesmo ano, 97,5% dos servidores se aposentaram com integralidade dos proventos, com apenas 2,5% obtendo a proporcionalidade (PEP, 2021).

A Figura 2 traz a série histórica do número de homens e mulheres aposentados em definitivo nos últimos 20 anos. As linhas pontilhadas verticais ressaltam os anos de realização de importantes mudanças previdenciárias, como a EC 41/2003, Lei 3.183/2015 e EC 103/2019. Apesar da maior proporção de homens no Executivo Federal, sendo 55% dos servidores, uma menor idade mínima para as mulheres faz com que o número de aposentadorias dos dois grupos seja similar, alternando a liderança ao longo dos anos.

Figura 2 – Série histórica de aposentadoria de servidores do Executivo Federal.



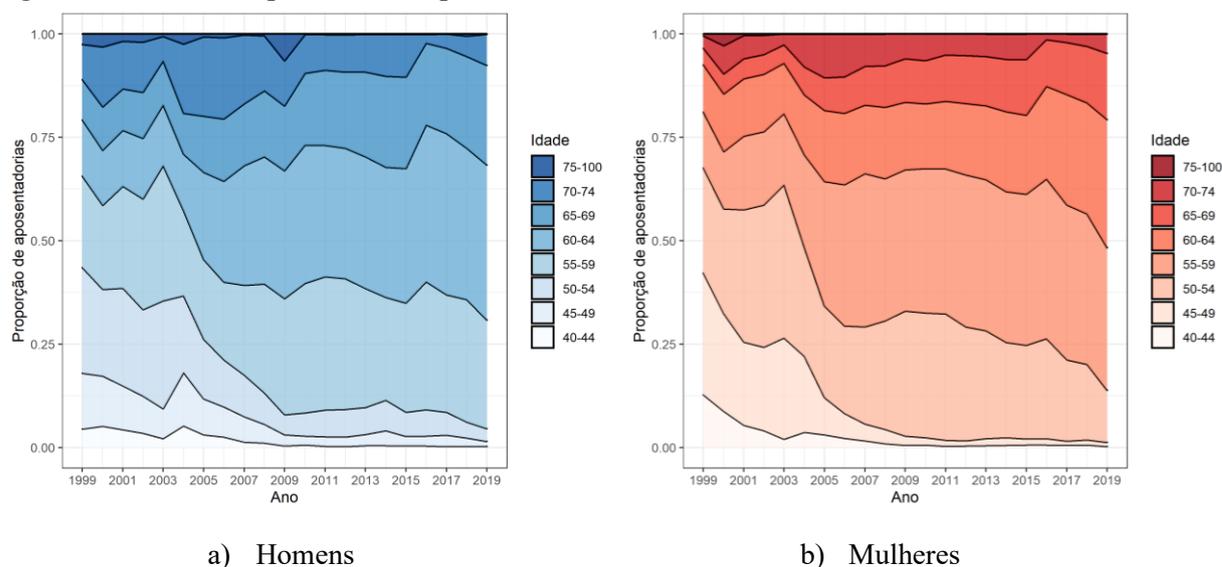
Fonte: elaboração própria com dados do Painel Estatístico de Pessoal (2020).

Percebe-se uma tendência de crescimento no número de servidores aposentados a cada ano, com os totais anuais passando de 7,3 mil em 2004 para 15,8 mil em 2016. Em 2017 esse número cresceu em 42%, atingindo 22,4 mil aposentadorias anuais. Schettini *et al.* (2018) explica o aumento das aposentadorias pelo expressivo crescimento no ingresso de servidores a partir dos anos 1980, ultrapassando 20 mil ingressos anuais em 1981-82, em comparação com a retração no final dos anos 1990. Após mais de três décadas de trabalho, essa expansão se refletiu no aumento dos pedidos de aposentadoria.

Em 2019, há um aumento de 200% em relação ao ano anterior, para 37,8 mil aposentadorias. Os picos acontecem na véspera de mudanças nas leis previdenciárias que dificultam a obtenção de aposentadoria. Os picos em 2017 e 2019 podem resultar das discussões sobre a reforma da previdência, com ameaças de extinção do abono de permanência e outras medidas para redução de gastos públicos (MACÊDO *et al.*, 2019).

Ao longo do tempo há uma elevação na faixa etária em que se realizam as aposentadorias, tanto para homens quanto para mulheres. A Figura 3 ilustra essa mudança no perfil de aposentadorias dos servidores públicos, apresentando a evolução proporcional das faixas etárias para homens e mulheres.

Figura 3 – Perfis de aposentadoria por faixa etária no Executivo Federal - 1999 e 2019.



Fonte: elaboração própria com dados do Painel Estatístico de Pessoal (2021).

A Figura 3.a) traz a proporção de aposentadorias por faixa etária para os homens. Na década de 1990 as faixas etárias inferiores tinham participação relevante nas aposentadorias, mas perderam espaço ao longo do tempo. As faixas até 49 anos concentravam 20,5% das

aposentadorias em 1999, caindo para 1,8% em 2019. Entre 50 e 54 estavam 24,8% das aposentadorias em 1999, mas apenas 3,1% em 2019. Assim, quase metade dos servidores (45,2%) se aposentavam com menos de 55 anos.

Após duas décadas, a aposentadoria tornou-se mais comum em faixas etárias elevadas, com as faixas de 55-59 crescendo de 21,5% para 26,1%, 60-64 de 13,2% para 37,4%, 65-69 de 9,4% para 24%. Atualmente, 95,2% dos servidores se aposentam após os 55 anos. A idade média de aposentadoria para os homens está em torno de 62 anos.

A Figura 3.b) mostra a proporção de aposentadorias por faixa etária para as mulheres. Verifica-se a perda de espaço nas faixas inferiores, com as aposentadorias até 45 anos representando 14,5% em 1999, mas apenas 0,7% em 2019. A faixa etária entre 45-49 caiu de 28,8% para 1%. Assim, quase metade (43,4%) das aposentadorias se dava até 50 anos, caindo para apenas 1,6% em 2019.

As faixas etárias superiores mostraram crescimento de participação, com a faixa de 55-59 aumentando de 13,2% para 34,4%, 60-64 de 11,2% para 30,9%, 65-69 de 3,9% para 15,9%. Atualmente, 98,4% das aposentadorias acontecem a partir dos 50 anos, sendo 51,5% acima da média verificada para as mulheres, de 60 anos de idade.

A idade é condição necessária para a obtenção da aposentadoria, mas não é o principal fator que influencia a decisão de permanecer no serviço público (MENEZES; FRANÇA, 2012). A elevação das faixas etárias de aposentadoria pode ser resultado de progressivos aumentos nas idades mínimas para homens e mulheres, além de melhorias no ambiente de trabalho e incentivos financeiros para o adiamento da aposentadoria. A percepção de satisfação e envolvimento no trabalho (MENEZES; FRANÇA, 2012), condições de autonomia e flexibilidade nos horários de trabalho, bem como os incentivos financeiros são importantes para a decisão do servidor de postergar a aposentadoria (MENEZES; FRANÇA, 2012; MACÊDO *et al.*, 2019).

Incentivos financeiros têm se mostrado eficazes para o adiamento da aposentadoria. (MACÊDO *et al.*, 2019). Adiar a aposentadoria de um servidor permite preservar o conhecimento e minimizar a acumulação de um novo servidor contratado para a reposição de um servidor inativo. Para isso, a EC 41/2003 instituiu o abono permanência para servidores que cumpram os requisitos mínimos para aposentadoria, até a idade de aposentadoria compulsória, hoje em 75 anos.

Um servidor com todos os requisitos aos 65 anos pode receber uma remuneração extra por mais 10 anos, por exemplo. Esse tempo é ainda maior para as mulheres, pois podem atingir os requisitos aos 62 anos. Gomide (2014) mostrou que, em 2012, o tempo médio de recebimento do abono permanência era de 3,2 anos. Apenas 20% dos servidores optaram pela aposentadoria definitiva ao obter os requisitos mínimos, abrindo mão do abono permanência.

Assim, obter os requisitos mínimos não significa a imediata aposentadoria. Gomide (2014) mostra que 80% dos servidores continuam em suas funções recebendo o abono permanência por 3,2 anos, em média. Metade dos servidores que recebem o abono ficam até 2,2 anos após obter os requisitos mínimos para aposentadoria, 20% de 3 a 7 anos e 16% acima de 7 anos. Menos de 10% se aposentam próximo à idade compulsória de 75 anos.

Em suma, quase a totalidade das aposentadorias atuais são voluntárias e com proventos integrais, com idade média de 62 anos para homens e 60 anos para as mulheres. Desde os anos 90 aconteceu uma elevação na faixa etária de aposentadoria, sendo que mais da metade de homens e mulheres se aposentam com mais de 60 anos de idade. O tempo de permanência após a obtenção do direito à aposentadoria é baixo, com 80% dos servidores se aposentando 3,2 anos depois.

#### 2.4.2 Déficit de servidores por aposentadoria

O envelhecimento no setor público brasileiro amplia o desafio de reposição dos servidores. Considerando as regras descritas nas seções anteriores, mais da metade da força de trabalho do Executivo Federal poderá se aposentar até 2035. Até lá, um quarto dos servidores atingirão a idade compulsória para aposentadoria de 75 anos, devendo deixar o setor público.

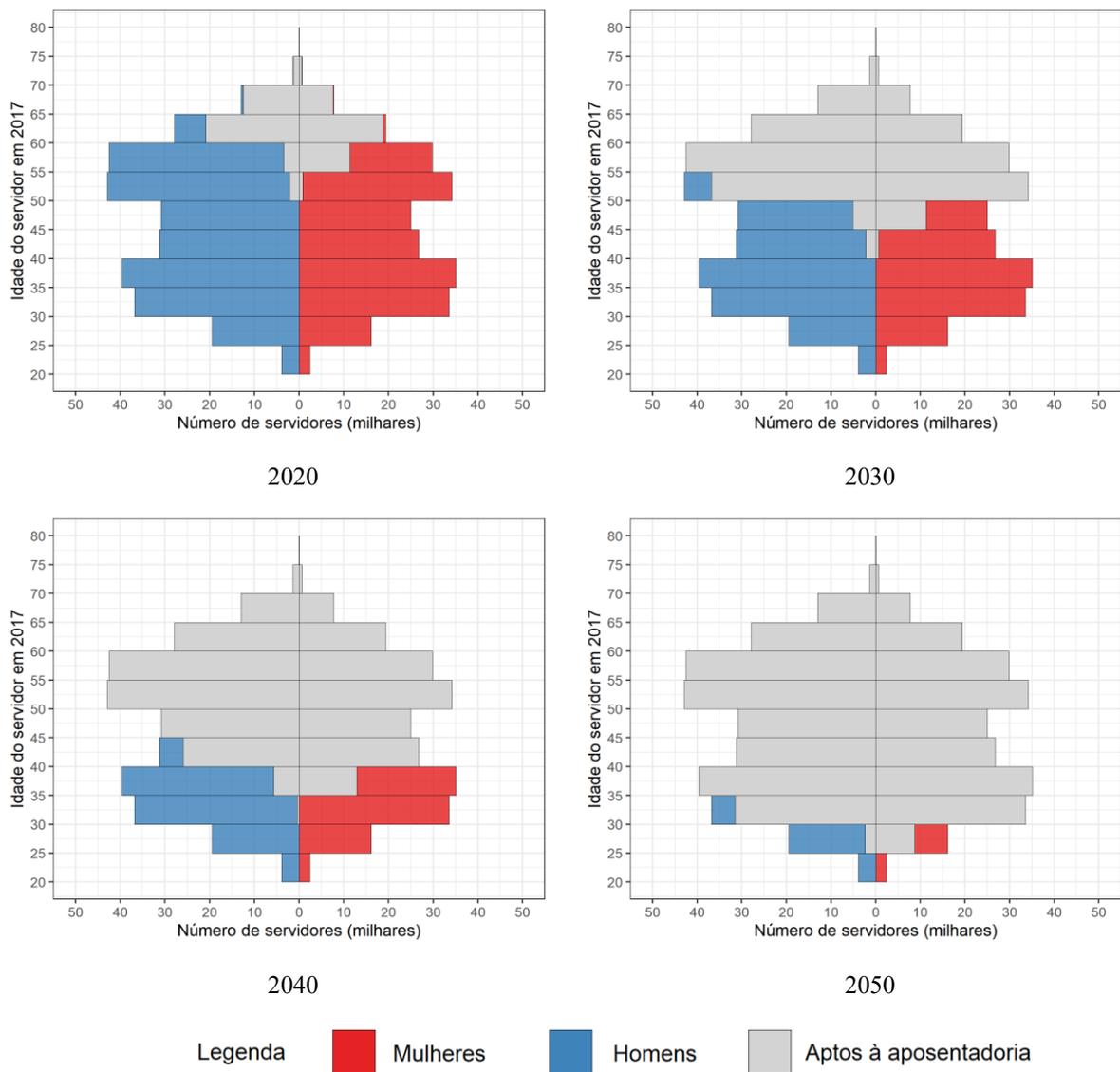
A Tabela 3 mostra as projeções por quinquênio dos servidores ativos que poderão adquirir o benefício da aposentadoria e os que serão aposentados compulsoriamente. Já a Figura 4 ilustra as pirâmides etárias dos servidores que constavam na base do SIAPE em 2017, aplicando-se as regras de aposentadoria discutidas na subseção 3.2. Para isso, fixou-se o número de servidores de acordo com o ano de 2017, mostrando-se o avanço da possibilidade de aposentadoria ao longo das décadas.

Tabela 3 – Proporção dos 520 mil servidores atuais aptos a se aposentar por quinquênio.

Ano	Ativos (milhares)	Aptos (milhares)	Compulsória (milhares)	% de Aptos + Compulsória
2020	441,1	78,9	0,4	15,2
2025	365,1	138,3	16,9	29,8
2030	288,0	174,3	58,1	44,7
2035	232,9	161,1	126,4	55,2
2040	174,5	139,8	206,1	66,5
2045	100,6	156,6	263,1	80,7
2050	37,6	162,8	320,0	92,8

Fonte: elaboração própria.

Figura 4 – Pirâmides etárias dos servidores de 2017 aptos a se aposentar por década.



Fonte: elaboração própria.

As projeções para 2020 consideraram que até 15,2% dos servidores ativos tornaram-se aptos a aposentadoria: 78,9 mil por obtenção dos requisitos mínimos e 367 por aposentadoria compulsória. De fato, o PEP (2021) mostra que 70,9 mil servidores se aposentaram entre 2018 e 2020, sendo 18,9 mil em 2018, 37,9 mil em 2019 e 14,1 mil em 2020. Assim, a projeção com base em 2017 ficou próxima para as aposentadorias nos três anos seguintes.

O percentual de servidores aptos a se aposentar deve crescer continuamente ao longo dos anos, atingindo 92,8% dos servidores em 2050. Essa transição evidencia a futura carência de servidores para a continuidade dos serviços públicos, aumentando a necessidade reposição e a consideração de tecnologias de automação como alternativa para a reposição de parte dos servidores.

Dessa forma, metade dos servidores poderão se aposentar entre 2030 e 2035. As pirâmides etárias revelam que esses servidores são aqueles que hoje se encontram com idades entre 50 e 55 anos. Em 2040-45, 66,5% a 80,7% dos servidores estarão em condições de aposentadoria, quase a totalidade dos servidores hoje com 40 anos ou mais. Em 2050 a aposentadoria chegará para a maioria dos servidores atualmente com 30 anos.

#### 2.4.3 Automação e aposentadoria

O envelhecimento dos servidores públicos traz questões sobre a necessidade de reposição e requalificação de servidores em cenários de avanço na automação. A introdução de novas tecnologias é uma possibilidade para substituir parte dos cargos deixados por servidores que saíram do setor público, reduzindo assim o déficit em áreas específicas.

A análise do déficit de servidores é realizada por meio de três medidas: D1 representa o déficit absoluto de servidores pelo motivo de aposentadoria; D2 é o déficit supondo que os servidores aposentados em ocupações de alta propensão à automação não serão repostos por novos servidores; enquanto D3 é D2 com a possibilidade de reposição do déficit a partir da realocação de servidores ativos que executam ocupações em alta propensão à automação.

A Tabela 4 apresenta os déficits D1, D2 e D3 calculados para as décadas de 2030, 2040 e 2050, buscando relacionar os servidores que desempenham ocupações em alta propensão à ocupação com a quantidade de servidores aptos a se aposentar a partir de cada data. A Tabela A1 da seção de Apêndices mostra as estimativas de D1, D2 e D3 desagregadas por Órgão Superior do Executivo Federal.

A partir de 2030, dos 520 mil servidores analisados, 232,4 mil (44,7%) poderão se aposentar (D1). Se considerado que os servidores aposentados em ocupações de alta propensão à automação serão substituídos por soluções tecnológicas, subtrai-se 53,6 mil servidores, com um déficit por aposentadoria com automação de 178,8 mil (D2), ou (34,3%).

Supondo que há perfeita mobilidade entre os cargos, o déficit por aposentadoria com automação e possibilidade de realocação dos servidores ativos subtrai 50,9 mil de D2, restando 127,9 mil (24,6%) cargos vagos com necessidade de reposição e sem a possibilidade de automação (D3). Esse resultado é uma contribuição central: sem inovações tecnológicas o déficit de servidores em 2030 pode chegar a 232,4 mil servidores, enquanto o uso e preparo de servidores para as tecnologias de automação pode diminuir esse déficit para 127,9 mil cargos vagos.

Tabela 4 – Projeção de déficits de servidores D1, D2 e D3.

Ano	2030	2040	2050
<b>Total (milhares de servidores)</b>	520,4	520,4	520,4
<i>Ativos</i>	286,7	174,5	37,6
<i>Aposentados</i>	232,4	345,9	482,8
Déficit dos aposentados (D1)	232,4	345,9	482,8
<b>Em alta automação (milhares de servidores)</b>	104,5	104,5	104,5
<i>Ativos</i>	50,9	36,4	12,2
<i>Aposentados</i>	53,6	68,2	92,3
Déficit com automação dos aposentados (D2)	178,8	277,7	390,5
Déficit com realocação dos automatizados ativos (D3)	127,9	241,4	378,3

Fonte: elaboração própria.

A plena implementação de tecnologias de automação pode vir a poupar a reposição de 104,5 mil servidores em 2030. Em 2040, a necessidade de reposição pode chegar a 345,9 mil servidores (D1), reduzida para 241,4 mil com as possibilidades de automação e realocação dos servidores (D3). Até 2050, a reposição pode chegar a 482,8 mil servidores (D1), reduzida para 378,3 mil com automação e realocação (D3).

O déficit de servidores federais para a manutenção da estrutura atual poderá ser ainda maior. A perfeita mobilidade é uma suposição irreal, dada a regulamentação de desvio de função e formação dos servidores atuais. Desconsidera-se também a saída de servidores por outros motivos além da aposentadoria, como atração pelo setor privado, morte, pedidos de afastamento temporário ou definitivo. Ainda assim, o cálculo aponta na direção do que poderá ocorrer em três décadas.

Assume-se também a pronta e efetiva implementação de tecnologias de automação, sem analisar seus custos e viabilidade técnica. Porém, adota-se uma estimativa conservadora e constante do percentil de ocupações em automação, considerando como alta propensão apenas aquelas que atualmente se encontram no quartil superior. Ao longo das próximas décadas, as tecnologias de automação devem evoluir para um grupo maior de ocupações, gerando novas possibilidades de aumento de produtividade por transformação, substituição ou aprimoramento das atividades.

#### 2.4.4 Tendências de aposentadoria e automação sobre as ocupações

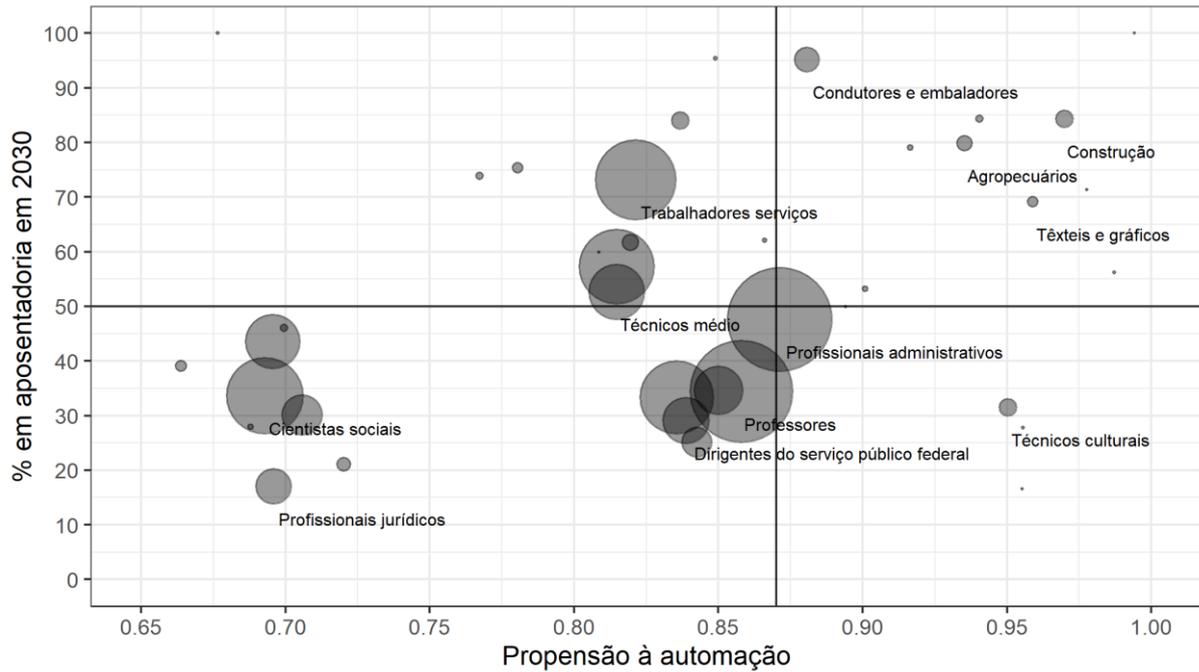
Por fim, identifica-se as ocupações propensas a sofrerem transformações por conta das tecnologias de automação, ao mesmo tempo que passam pelo processo de saída de servidores para a aposentadoria.

A Figura 5 permite visualizar os servidores em ocupações de alta propensão à automação e as ocupações com maior percentual de aposentadorias a partir de 2030. As ocupações estão agrupadas ao nível de subgrupos principais da CBO, com dois dígitos. Novamente, em alta propensão automação considera-se os servidores no quarto quartil da automação, ou seja, acima de 0,87. Em alta aposentadoria traça-se distinção para as ocupações com mais da metade dos servidores se aposentando a partir de 2030. As estimativas de automação para cada ocupação encontram-se no Ensaio II.

Ilustra-se a situação dos servidores em quatro quadrantes: i) em aposentadoria com alta propensão à automação; ii) em aposentadoria com baixa propensão à automação; iii) em baixa aposentadoria com baixa propensão à automação; e iv) em baixa aposentadoria com alta propensão à automação.

No quadrante superior direito, aposentadoria com alta propensão à automação, estão 53,6 mil servidores cujas ocupações poderão ser extintas pela introdução de tecnologias, sem a necessidade de novas contratações. Como a média de idade é elevada, não há prioridade de retreinamento de servidores para essas ocupações. Nessa situação encontram-se servidores nas áreas de construção civil, obras públicas, conservação e extração mineral; trabalhadores agropecuários em geral; condutores de veículos e operadores de equipamentos de elevação e de movimentação de cargas, embaladores, empacotadores e alimentadores de produção; e trabalhadores das atividades têxteis, do vestuário e das artes gráficas.

Figura 5 – Quadrantes de propensão à automação e aposentadoria em 2030.



*Nota:* tamanho das bolhas representa a quantidade de servidores no subgrupo, variando entre 1 e 90 mil.

Fonte: elaboração própria.

No quadrante superior esquerdo, em aposentadoria com baixa propensão à automação, estão os 178,8 mil servidores que deixarão o serviço público com vagas em aberto (D2) que, na ausência de tecnologias de automação viáveis, necessitarão da atração de servidores por meio de novas contratações ou retreinamento dos existentes. Inclui-se trabalhadores nos serviços de proteção e segurança; nos serviços de administração, conservação e manutenção de edifícios e trabalhadores dos serviços de saúde. Traz também os servidores técnicos em nível médio nas áreas administrativas e de saúde humana.

No quadrante inferior esquerdo estão 237,1 mil servidores de menor percentual de aposentadorias e baixa propensão à automação. São servidores que tendem a desempenhar suas funções ganhando com a complementaridade das tecnologias de automação, mas sem necessidade de realocação. Destacam-se os pesquisadores e profissionais policientíficos, nas áreas de ciências sociais e humanas; ciências jurídicas; ciências biológicas, da saúde e afins; e ciências exatas, como física e engenharias. Mais próximos da fronteira de automação estão os professores de ensino superior e médio e dirigentes do serviço público federal, que inclui diretores, gerentes e especialistas em políticas públicas e regulação.

No quadrante inferior direito estão os 50,9 mil servidores com baixo percentual de aposentadorias e alta propensão à automação. Essas ocupações oferecem oportunidades para

introdução de tecnologias de automação das atividades, ao mesmo tempo em que podem preencher cargos deixados por servidores que se aposentaram em ocupações de baixa propensão à automação. Próximos à fronteira de automação estão os trabalhadores de escritório, que agrupa escriturários em geral, agentes, assistentes e auxiliares administrativos, além de secretários e auxiliares de serviços de biblioteca, documentação e correios. Inclui ainda os técnicos dos serviços culturais, das comunicações e dos desportos.

Com o passar das décadas, espera-se um deslocamento dos eixos para esquerda e para baixo, pelo aumento no número de profissionais em condições de aposentadoria e também progresso das tecnologias de automação. Ao estender o horizonte de análise até 2050, chega-se no percentual de 93% dos servidores considerados aptos a se aposentar até lá. Porém, essa análise de longo prazo ignora novas ocupações que tendem a surgir no setor público a partir da inovação tecnológica e mudanças nas demandas da sociedade. Esses desafios são limites da atual pesquisa que poderão ser superados em estudos futuros.

A partir dos quadrantes pode-se imaginar efeitos de políticas com objetivos de reduzir o impacto das aposentadorias precoces sobre as contas públicas e aproveitar o potencial das tecnologias de automação para preencher o déficit de servidores. Por exemplo, aumentos nas idades mínimas de aposentadoria retardam a saída de servidores, desacelerando o deslocamento para baixo da linha horizontal. Programas de fomento à inovação no setor público podem acelerar a introdução de tecnologias de automação, provocando aumentos de produtividade nos servidores atuais, diminuindo a carga de trabalho e conseqüentemente o futuro déficit de servidores em áreas específicas.

## 2.5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O Brasil desfrutou de acelerado crescimento populacional atingindo taxas de crescimento econômico da ordem de 2,6% nos anos 1990 e 3,7% nos anos 2000. Entre 2011 e 2020, porém, estima-se um crescimento médio inferior a 1% (IBGE, 2020). Com projeção de declínio após 2050, o componente demográfico colocará mais pressão sobre o aumento da produtividade e formação de trabalhadores de alta qualificação para a manutenção da oferta de serviços públicos.

Ao mesmo tempo, o envelhecimento dos servidores pode gerar déficits na força de trabalho. O estudo ofereceu aproximações de que metade dos servidores do Executivo Federal poderá se aposentar entre 2030 e 2035. Um quarto dos servidores atingirão a idade compulsória

para aposentadoria de 75 anos, deixando em aberto cargos que exigirão reposição para manutenção da estrutura atual.

Uma forma de mitigar a necessidade de reposição de servidores se dá por incentivar a manutenção dos servidores trabalhando por mais tempo. No Executivo Federal, a idade média de aposentadoria está em 62 anos para homens e 60 anos para as mulheres. Segundo o estudo da OECD (2019), *Pensions at a Glance 2019*, a média de idade de aposentadoria nos países desenvolvidos varia entre 62 e 67 anos, com tendência de aumento em 1,9 anos até 2060, e eliminação das diferenças entre gêneros.

Na mesma linha, o Executivo Federal brasileiro passa pelo progressivo aumento nas idades mínimas e compulsórias para aposentadoria, e redução das diferenças nas regras para homens e mulheres. Além disso, oferece incentivos financeiros de adiamento de aposentadoria com o objetivo de reter os servidores por mais tempo e postergar o duplo gasto com ativos e inativos. Porém, tais estratégias são limitadas pelas condições de saúde e produtividade reduzidas em idades avançadas.

Assim, a queda nos custos da automação pode levar a uma revisão nas estratégias de contratação de servidores. No total, 20% do total de servidores encontram-se em ocupações com elevado potencial a terem suas tarefas atribuídas a sistemas automatizados nas próximas décadas. As tecnologias de automação podem ajudar a conciliar o desafio de aumento nos déficits de servidores em áreas específicas.

As análises mostraram que 232,4 mil servidores estarão aptos a se aposentar a partir de 2030 (D1). Se for considerado que os servidores aposentados em ocupações de alta propensão à automação poderão ser substituídos por soluções tecnológicas, diminui-se o déficit em 53,6 mil servidores, com 178,8 mil cargos em aberto (D2). Ainda, supondo que exista perfeita mobilidade entre os cargos, o déficit poderia ser coberto pela realocação de servidores ativos em ocupações propensas à automação, reduzindo o número de cargos com necessidade de reposição para 127,9 mil (D3).

Há restrições legais que introduzem rigidez no processo de realocação de servidores. A legislação que dispõe sobre o regime jurídico dos servidores do Executivo Federal, como a Lei nº 8.112/1990, busca dar segurança contra arbitrariedades e evitar o desvio de funções compostas pela descrição dos cargos, mas também pode criar restrições para a realocação dos servidores. A constante modernização da legislação e da descrição dos cargos devem ser pontos de discussão sobre o futuro da automação das tarefas que competem ao servidores públicos.

Políticas públicas também podem ser pensadas para amortecer os custos de transição de trabalhadores entre as ocupações, aliviando os efeitos negativos da automação. Por exemplo, a pesquisa identificou maiores efeitos da automação sobre as mulheres, que já possuem desvantagens salariais em relação aos servidores homens. Parte dessa desigualdade pode ser explicada pela maior concentração de mulheres em ocupações com menor remuneração, como auxiliares de limpeza, cozinha e enfermagem, e menor concentração em cargos de direção e auditoria. As razões para o viés de seleção das mulheres para ocupações de menor remuneração no setor público merece melhor investigação em pesquisas dedicadas ao tema.

Maiores discussões são necessárias sobre os impactos orçamentários da automação, incluindo seus custos de desenvolvimento e implementação. Sugere-se que pesquisas futuras aprofundem as perspectivas de automação mapeando *in loco* as oportunidades de inovação e desenvolvendo soluções técnicas viáveis para o setor público. Ao fim, a automação é feita por pessoas que identificam oportunidades, desenvolvem soluções, convencem e capacitam os usuários a adotar as tecnologias. Nessas tarefas não há perspectivas para a substituição do trabalho humano.

## 2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Ensaio II investigou as interações entre os efeitos de automação e aposentadoria nas próximas três décadas do serviço público brasileiro. Para esse fim, construiu-se projeções para o déficit de servidores por motivos de aposentadoria, e os déficits esperados após a adoção de soluções de automação e realocação de servidores.

Apresentou-se o potencial das tecnologias de automação na reposição de servidores que tendem a sair por motivos de aposentadoria. Contribui-se para a discussão de políticas públicas que aumentem a produtividade, transmissão de conhecimento e retenção de pessoas em um contexto de crescente automação. Do total de 521 mil servidores ativos em 2017, 20% estão em ocupações com alta propensão à automação.

Introduziu-se três métricas para o déficit projetado de servidores com vistas à manutenção da estrutura e funcionamento dos serviços públicos. Cerca de 232,4 mil servidores estarão aptos a se aposentar a partir de 2030 (D1), com 178,8 mil cargos em aberto após a automação (D2) e 127,9 mil cargos com necessidade de reposição após a livre realocação de servidores (D3). Mostrou-se também a evolução dos déficits ao longo das décadas seguintes. Discutiu-se ainda as restrições para a implementação de tecnologias de automação e restrições legais que tornam rígido o processo de realocação de servidores.

Pesquisas futuras podem atualizar os resultados de acordo com as mudanças de estrutura no Executivo Federal e avanços das tecnologias de automação. Discussões adicionais são necessárias quanto aos custos e benefícios do desenvolvimento e implementação de novas tecnologias; sobre as competências necessárias na requalificação dos servidores atuais; e práticas de gestão de pessoas que suavizem o processo de transição para a força de trabalho pública do futuro.

## REFERÊNCIAS

- ADAMCZYK, W. B. Impacto da Automação no Executivo Federal no Brasil. Escola Nacional de Administração Pública – ENAP, Brasília, 2020. Disponível em: <http://repositorio.enap.gov.br/handle/1/6313> . Acesso em: 28 de out. 2021.
- ALBUQUERQUE, P. H. M.; SAAVEDRA, C. A. P. B.; MORAIS, R. L.; PENG, Y. The Robot from Ipanema goes Working: Estimating the Probability of Jobs Automation in Brazil, **Latin American Business Review**, 20:3, 227-248, 2019.
- AMARAL, F. V. A.; GIAMBIAGI, F.; CAETANO, M. A. R. O fundo previdenciário dos servidores da União: resultados atuariais. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 43, n. 1, p. 119-160, 2013.
- BANCO MUNDIAL. **Gestão de Pessoas e Folha de Pagamentos no Setor Público Brasileiro: o Que Os Dados Dizem**. Brasília: Banco Mundial, 2019.
- BARBOSA-FILHO, F.H.; PESSÔA, S.A.; AFONSO, L.E. Um estudo sobre os diferenciais de remuneração entre os professores das redes pública e privada de ensino. **Estudos Econômicos**, v. 39, p. 597–628, 2009.
- BARTIK, T. J. **Who Benefits from State and Local Economic Development Policies?** Kalamazoo, Michigan: W. E. Upjohn Institute for Employment Research, 1991.
- BECKER, K. L.; KASSOUF, A. L. Diferença salarial e aposentadoria dos professores do ensino fundamental. **Economia Aplicada**, v. 16, p. 77-104, 2012.
- BRAGA, B.; FIRPO, S.; GONZAGA, G. Escolaridade e diferencial de rendimentos entre o setor privado e o setor público no Brasil. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 39, n. 3, 431–464, 2009.
- BRASIL. Constituição (1988). Emenda constitucional nº 3, de 17 de março de 1993. Altera os arts. 40, 42, 102, 103, 155, 156, 160, 167 da Constituição Federal. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/emendas/emc/emc03.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/emendas/emc/emc03.htm). Acesso em: 24 de nov. 2020.
- BRASIL. Constituição (1988). Emenda constitucional nº 20, de 15 de dezembro de 1998. Modifica o sistema de previdência social, estabelece normas de transição e dá outras providências. Disponível em:

[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/emendas/emc/emc20.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/emendas/emc/emc20.htm). Acesso em: 24 de nov. 2020.

BRASIL. Constituição (1988). Emenda constitucional nº 41, de 19 de dezembro de 2003. Modifica os arts. 37, 40, 42, 48, 96, 149 e 201 da Constituição Federal (...). Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/emendas/emc/emc41.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/emendas/emc/emc41.htm). Acesso em: 24 de nov. 2020.

BRASIL. Constituição (1988). Emenda constitucional nº 47, de 5 de julho de 2005. Altera os arts. 37, 40, 195 e 201 da Constituição Federal, para dispor sobre a previdência social, e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/Emendas/Emc/emc47.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/Emendas/Emc/emc47.htm). Acesso em: 24 de nov. 2020.

BRASIL. Constituição (1988). Emenda constitucional nº 103, de 12 de novembro de 2019. Altera o sistema de previdência social e estabelece regras de transição e disposições transitórias. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/Emendas/Emc/emc103.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/Emendas/Emc/emc103.htm). Acesso em: 24 de nov. 2020.

BRASIL. Lei Complementar nº 152, de 3 de dezembro de 2015. Dispõe sobre a aposentadoria compulsória por idade, com proventos proporcionais, nos termos do inciso II do § 1º do art. 40 da Constituição Federal. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/lcp/lcp152.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp152.htm). Acesso em: 23 de nov. 2020.

BRASIL. Lei nº 8.112, de 11 de dezembro de 1990. Dispõe sobre o regime jurídico dos servidores públicos civis da União, das autarquias e das fundações públicas federais. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L8112compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8112compilado.htm). Acesso em: 23 de nov. 2020.

BRASIL. Lei nº 10.887, de 18 de junho de 2004. Dispõe sobre a aplicação de disposições da Emenda Constitucional nº 41 (...). Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/lei/110.887.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.887.htm). Acesso em: 24 de nov. 2020.

BRASIL. Lei nº 12.618, de 30 de abril de 2012. Institui o regime de previdência complementar para os servidores públicos federais titulares de cargo efetivo (...). Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112618.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112618.htm). Acesso em: 24 de nov. 2020.

BRASIL. Lei nº 13.183, de 04 de novembro de 2015. Altera as Leis nº s 8.212, de 24 de julho de 1991, e 8.213, de 24 de julho de 1991, (...). Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2015/lei/113183.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/113183.htm). Acesso em: 24 de nov. 2020.

BRASIL, MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO. **Classificação Brasileira de Ocupações (CBO)**. Portal Emprega Brasil, 2019. Disponível em: <https://empregabrasil.mte.gov.br/76/cbo/>. Acesso em: 20 de jun. 2020.

BRYNJOLFSSON, E.; McAfee, A. **The Second Machine Age**: work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. WW Norton & Company, 2014.

CAETANO, M. A., RANGEL, L. A., PEREIRA, E. S., ANSILIERO, G., PAIVA, L. H., COSTANZI, R. N. **O fim do fator previdenciário e a introdução da idade mínima: questões para a previdência social no Brasil**. Texto para Discussão n. 2230. Brasília: Ipea, 2016.

COMISSÃO NACIONAL DE CLASSIFICAÇÃO. **Classificação Brasileira de Ocupações – CBO**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. Disponível em: <https://concla.ibge.gov.br/classificacoes/por-tema/ocupacao/classificacao-brasileira-de-ocupacoes.html> . Acesso em: 22 de jun. 2020.

FREY, C. B.; OSBORNE, M. A. The Future of Employment: how susceptible are jobs to computerisation? **Technological forecasting and social change**, v. 114, p. 254-280, 2017.

GOMIDE, L. B. Adiamiento da Aposentadoria Um estudo sobre os Servidores Públicos Federais do Poder Executivo e o Abono Permanência. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Especialização em Gestão de Pessoas, do Curso de Especialização em Gestão de Pessoas no Serviço Público, Escola Nacional de Administração Pública. 2014. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/handle/1/2665>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Tabela 2072 - Contas econômicas trimestrais, 2020. Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/2072>. Acesso em: 23 de nov. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Projeções da População do Brasil e Unidades da Federação por sexo e idade: 2010-2060. Projeções da População, 2018a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html>. Acesso em: 25 de ago. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Indicadores Sociodemográficos Prospectivos para o Brasil 1991-2030, 2006. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv33078.pdf>. Acesso em: 25 de ago. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Tábuas Completas de Mortalidade, 2018b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9126-tabuas-completas-de-mortalidade.html>. Acesso em: 25 de ago. 2020.

KUBOTA, L. C.; MACIENTE, A. N. Propensão à automação das tarefas ocupacionais no Brasil. **Radar: tecnologia, produção e comércio exterior**, v. 61. Brasília: IPEA, 2019.

MACÊDO, L. S. S.; BENDASSOLLI, P. F.; TORRES, T. DE L. Preditores do adiamento da aposentadoria por servidores públicos federais. **Avances en Psicología Latinoamericana**, v. 37, n. 1, p. 151, 2019.

MAGALHÃES, P. B. C.; BUGARIN, M. N. S. Simulações da previdência social brasileira: estudo de caso do Regime Jurídico Único – RJU. **Estudos Econômicos**, v. 34, n. 4, p. 627-659, 2004.

MASCARENHAS, R. A. C.; OLIVEIRA, A. M. R.; CAETANO, M. A. R. **Análise atuarial da reforma da previdência do funcionalismo público da União**. Coleção Previdência Social, n. 21. Brasília: MPS, 2004.

MENEZES, G.; FRANÇA, L. H. Preditores da Decisão da Aposentadoria por Servidores Públicos Federais. **Revista Psicologia: Organizações e Trabalho**, v. 12, n. 3, p. 315–328, 2012.

Mercado de tecnologia movimentou R\$ 467,8 bilhões no Brasil em 2017. **Valor Econômico**, 20 de abril de 2018. Disponível em:

<https://valor.globo.com/empresas/noticia/2018/04/20/mercado-de-tecnologia-movimentou-r-4678-bilhoes-no-brasil-em-2017.ghtml>. Acesso em: 23 de nov. 2020.

MOSTAFA, J.; VALADARES, A. A.; SOUZA, M. G. P. S.; REZENDE, M. T.; FONTOURA, N. O. Previdência e gênero: por que as idades de aposentadoria de homens e mulheres devem ser diferentes? **Nota Técnica nº 35**. Brasília: IPEA, 2017.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Pensions at a Glance 2019: OECD and G20 Indicators**. Paris: OECD Publishing, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/b6d3dcfc-en>. Acesso em: 23 de nov. 2020.

PAINEL ESTATÍSTICO DE PESSOAL. Aposentadorias. Ministério da Economia. Disponível em: <http://painel.pep.planejamento.gov.br/>. Acesso em: 19 de ago. 2021.

RELAÇÃO ANUAL DE INFORMAÇÕES SOCIAIS. **Manual de Orientação da RAIS – ano-base 2018**. Brasília: MTb, SPES, 2019.

RODRIGUES, D. D.; AFONSO, L. E. O impacto da criação do Funpresp sobre os benefícios previdenciários dos servidores públicos federais. **Revista de Administração Pública**, v. 49, n. 6, p. 1479-1505, 2015.

SIAPENET. **Portal Siapenet**. Apresentação. Disponível em: [www.siapenet.gov.br/portal/servico/Apresentacao.asp](http://www.siapenet.gov.br/portal/servico/Apresentacao.asp). Acesso em: 14 de nov. 2020.

SCHETTINI, B. P.; PIRES, G.; SANTOS, C. H. **Previdência e reposição no serviço público civil federal do poder executivo: microsimulações**. Texto para Discussão n. 2365. Brasília: IPEA, 2018.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The Future of Jobs: employment, skills and Workforce strategy for the Fourth Industrial Revolution**, 2016.

## ENSAIO III – AUTOMAÇÃO E OCUPAÇÕES NO BRASIL: NOVAS ESTIMATIVAS

### Resumo

Qual o efeito da automação no futuro das ocupações do setor privado no Brasil? O Ensaio III investiga as ocupações mais suscetíveis à automação com base em algoritmos de aprendizado de máquina e de processamento natural de linguagem. Inova-se ao aplicar um método objetivo para estimação de propensão à automação chamado *Bartik Occupational Tasks* (BOT), que evita o uso de classificações subjetivas ou *ad hoc*, como faz a literatura sobre o tema. Analisase 2.496 ocupações de 31,5 milhões de trabalhadores formais em tempo integral na base de dados da RAIS de 2018. Cerca de 11% dos trabalhadores brasileiros encontram-se nas ocupações de mais alta propensão à automação, e 45% até média-alta automação. Ocupações com menores níveis médios de escolaridade e menores remunerações são as mais propensas à automação. Na agropecuária, 79% dos trabalhadores formais são potencialmente automatizáveis, 68% no setor industrial e 33% no setor de serviços.

**Palavras-chave:** Desemprego tecnológico; Automação; Aprendizado de máquina; Mercado de trabalho.

### Abstract

What is the impact of automation on the future of private sector occupations in Brazil? Using machine learning and natural language processing algorithms, Essay III investigates the occupations' susceptibility to automation. We apply *Bartik Occupational Tasks* (BOT), an objective method to identify automation, avoiding subjective or *ad hoc* assessments. To that end, we analyze 2.496 occupations of 31,5 million fulltime workers in RAIS 2018 dataset. Around 11% of Brazilian workers find themselves in occupations with high susceptibility to automation, and 45% in high and middle-high automation. Occupations with lower levels of schooling and wages are most susceptible to automation. Automation can impact 79% of formal agricultural workers, 68% of industrial workers and 33% in the service sector.

**Keywords:** Technological unemployment; Automation; Machine learning; Job market.

**JEL:** J24 - Human Capital • Skills • Occupational Choice • Labor Productivity

### 3.1 INTRODUÇÃO

As tecnologias de inteligência artificial e automação estão no centro de uma mudança nos processos produtivos e no mercado de trabalho mundial. Já é consensual que essas novas tecnologias permitirão expressivos aumentos de produtividade e redução de custos (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2014; WEF, 2016; FREY; OSBORNE, 2017).

A inovação tecnológica traz ganhos substanciais no longo prazo, mas, em períodos mais breves, as novas técnicas de automação podem impactar o desemprego. Nesse contexto, os bens de capital competem com o trabalho humano. Tensões sociais podem emergir com a eliminação de empregos por meio da substituição de trabalhadores por máquinas. Não há garantias de que novas ocupações serão repostas no mesmo ritmo em que são substituídas (GOLDIN; KATZ, 1998; AUTOR, 2015).

Dessa forma, a identificação das ocupações mais suscetíveis à automação pretende guiar a elaboração de políticas públicas com a finalidade de suavizar o processo de transição. Governos, empresas e universidades são responsáveis por desenvolver as habilidades e competências adequadas para uma força do trabalho do futuro que bem aproveite todo potencial humano e tecnológico.

As discussões acerca das consequências da automação têm crescido em popularidade após 2015, mas ainda contam com literatura incipiente no Brasil. Em geral, os estudos internacionais de previsão de ocupações automatizáveis (FREY; OSBORNE, 2017; ARNTZ; GREGORY; ZIERAHN, 2016, 2017) e estudos nacionais (ALBUQUERQUE *et al.*, 2019; KUBOTA; MACIENTE, 2019) baseiam-se na opinião de especialistas para classificar ocupações ou tarefas.

Este trabalho revisita o método *Bartik Occupational Tasks* (BOT), desenvolvido no Ensaio I, para uma aplicação ao mercado de trabalho privado no Brasil. O método BOT permite uma estimativa objetiva da trajetória ocupacional a partir de informações observadas no mercado de trabalho. Para isto, são construídos algoritmos preditivos de propensão à automação usando técnicas de *Natural Language Processing* (NLP) e de *Machine Learning* (ML) para extrair informações quantitativas a partir dos textos que descrevem as tarefas de cada uma das 2.627 ocupações da Classificação Brasileira de Ocupações (CBO).

A fim de identificar o efeito da automação sobre as ocupações no mercado de trabalho brasileiro, os resultados da aplicação desta metodologia mostram que 11,3% dos trabalhadores desempenham ocupações classificadas em alta propensão à automação e 44,8% em situação de

alta e média-alta propensão. Estima-se que nas próximas décadas a automação possa afetar 7 milhões de empregos no setor de serviços, 6 milhões na indústria e 1 milhão na agropecuária. Em geral, as ocupações mais propensas à automação são aquelas com menores níveis de escolaridade e remuneração.

Após essa introdução (3.1), faz-se a revisão da literatura (3.2), apresenta-se a metodologia e as fontes de dados (3.3). Na seção de resultados (3.4) estima-se a fronteira tecnológica, o efeito da automação sobre as ocupações do mercado de trabalho brasileiro e, apresentam-se as seções de discussão dos resultados (3.5) e considerações finais (3.6).

## 3.2 AUTOMAÇÃO E EMPREGO: UMA REVISÃO DA LITERATURA

### 3.2.1 Tecnologias e estudos de automação

Tecnologias de computerização e de inteligência artificial (IA) fomentam uma mudança de patamar tecnológico nos processos produtivos e no mercado de trabalho (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2014; FREY; OSBORNE, 2017). A literatura de desemprego tecnológico oferece evidências de que a introdução de novas tecnologias de informação viabiliza automatizar tarefas executadas por trabalhadores (GOLDIN; KATZ, 1998; ACEMOGLU; AUTOR, 2011; FIRPO, FORTIN; LEMIEUX, 2011). Tais tecnologias oferecem vantagens por serem facilmente escaláveis, com alto poder de redução de custos e ganhos de eficiência produtiva (AUTOR, 2015; FREY; OSBORNE, 2017; WEF, 2016).

Pesquisas recentes trazem resultados conflitantes para a magnitude do impacto da automação na eliminação de postos de trabalho. As discordâncias podem ser contrastadas pela metodologia empregada na estimação: *automação com base em ocupações* (FREY; OSBORNE, 2017) ou *automação com base em tarefas* (ARNTZ; GREGORY; ZIERAHN, 2016, 2017).

A *automação com base em ocupações* busca encontrar as profissões que tendem a desaparecer nas próximas décadas e o impacto do desemprego tecnológico sobre salários, desigualdade e polarização da renda. Nessa abordagem, Frey e Osborne (2017) e a pesquisa da McKinsey Global Institute (2017) estimaram que cerca de 47% dos empregos dos Estados Unidos possuem elevado risco de desaparecer em três décadas devido à automação.

A metodologia aplicada por Frey e Osborne (2017) atribuiu probabilidades de automatização das tarefas de cada profissão de acordo com a identificação dos gargalos tecnológicos (*bottlenecks*), realizando a classificação das atividades em baixo e alto risco. A

fim de desenvolver os modelos preditivos, Frey e Osborne (2017) estimaram possíveis resultados de automação com base na opinião de um grupo de especialistas em aprendizado de máquina. As 70 ocupações em que os autores confiavam que todas as tarefas poderiam ser automatizáveis foram manualmente classificadas, servindo como informações para treinar o modelo. A partir desse treinamento, os autores inferiram as probabilidades de automatização para as demais 900 profissões da *Standard Occupational Classification* (SOC),

Em estudos para o mercado de trabalho formal brasileiro, Albuquerque *et al.* (2019) adaptaram a metodologia de Frey e Osborne (2017) confiando na avaliação de automação de 69 especialistas em inteligência artificial. Estimaram assim que 54,5% dos 45,9 milhões de postos de trabalho encontram-se em ocupações com alta ou muito alta probabilidade de automação. Com probabilidade alta foram consideradas as ocupações no terceiro quartil, enquanto muito alta as que se encontraram no quartil superior da distribuição da probabilidade de automação.

Críticas ao elevado percentual de trabalhadores em ocupações em alto risco de automação surgiram na literatura. Primeiro, Arntz, Gregory e Zierahn (2016) apontaram que a estimativa com base em ocupações oferece superestimativas de automação, pois mesmo naqueles empregos considerados de alto risco, trabalhadores podem realizar tarefas que são de difícil automação. O impacto da automação é heterogêneo e parcial sobre as ocupações, que são passíveis de serem remodeladas e assumirem um novo caráter, qualificação e denominação. Em segundo lugar, a classificação subjetiva pode incorrer em confusão entre o potencial para automação e as perdas no nível de emprego nas ocupações. Por vezes, a automação pode ser factível de um ponto de vista tecnológico, mas não ser economicamente viável (ARNTZ; GREGORY; ZIERAHN, 2016).

Como alternativa, Arntz, Gregory e Zierahn (2016, 2017) propuseram a estimativa da propensão à *automação com base em tarefas* que compõe cada ocupação, em nível mais desagregado, o que permite incorporar heterogeneidades entre trabalhadores. Por essa abordagem, Arntz, Gregory e Zierahn (2016) estimaram que, na média dos países desenvolvidos selecionados, apenas 9% dos trabalhadores estão em ocupações com alto risco de desaparecer nas próximas duas décadas.

No contexto brasileiro, Kubota e Maciente (2019) estimaram que cerca de 56,5% dos empregos formais no país possuem ocupações vulneráveis à automação, considerando tecnologias consolidadas e passíveis de implementação. Usando 19 mil tarefas descritas na base

O\*NET, Kubota e Maciente (2019) realizaram a construção de um dicionário de palavras-chave associadas à automação com base na classificação de atividades por seus requisitos de rotina e cognição propostos para a Alemanha em Spitz-Oener (2006).

Em comparação com os países desenvolvidos, a maior parte da mão de obra das ocupações brasileiras se encontra em atividades intensivas em habilidades rotineiras e de baixo nível cognitivo (ALBUQUERQUE *et al.*, 2019; MACIENTE; RAUEN; KUBOTA, 2019). A literatura indica que tarefas rotineiras de operação e controle e as dependentes de aptidões físicas tendem a perder espaço no mercado de trabalho frente as de maior qualificação.

### 3.2.2 Efeitos da automação sobre o mercado de trabalho

A classificação das tarefas ocupacionais de Autor, Levy e Murnane (2003) ajuda a compreender os efeitos da automação a partir de características das tarefas que definem cada ocupação. As ocupações são formadas a partir de uma combinação de tarefas que variam em intensidade cognitiva, manual e rotineira. Tarefas cognitivas requerem elevado nível educacional com capacidade analítica para lidar com problemas abstratos. Tarefas manuais são desempenhadas por meio de interações pessoais, necessitando de reconhecimento visual, de linguagem e adaptação a diferentes situações. Ainda, tanto as tarefas cognitivas quanto manuais podem ser classificadas como rotineiras ou não-rotineiras. Tarefas rotineiras são executadas de maneira repetitiva em ambientes estruturados, com baixo nível de improvisação. Autor (2015) destaca que as tarefas rotineiras são mais fáceis de serem codificadas e, portanto, automatizáveis. Por outro lado, tarefas cognitivas e manuais não-rotineiras apresentam maior resistência à automação.

Assim, o avanço da automação sobre as tarefas rotineiras pode impactar o mercado de trabalho por meio do aumento da desigualdade e polarização dos rendimentos do emprego. Autor (2015) mostra que a tradução dos efeitos da automação sobre a polarização de rendimentos depende da interação entre três forças de mercado: complementaridade, elasticidade da demanda e oferta de trabalho.

A complementaridade aumenta a produtividade de trabalhadores em ocupações que se beneficiam da interação com tecnologias de automação. Um médico, por exemplo, pode se utilizar de tecnologias de inteligência artificial que, a partir de um conjunto de sintomas, aponte para hipóteses diagnósticas cada vez mais precisas (LOBO, 2017). O estudo seminal de Tinbergen (1964) mostra que o progresso tecnológico complementa e eleva a demanda por

trabalhadores mais educados. Por sua vez, a demanda por serviços médicos é inelástica, já que, em caso de necessidade, o paciente não encontra substitutos próximos. Ainda, a oferta de médicos é considerada inelástica. O tempo e o nível de qualificação necessários para a formação dificultam a entrada de novos profissionais nesse mercado. Forças semelhantes podem ser vistas sobre ocupações de juristas, finanças, engenharia, pesquisa e design (AUTOR, 2015). Assim, cria-se um ciclo de reforço gerando aumentos nos ganhos salariais de profissionais que desfrutam de complementaridades e inelasticidade de oferta e demanda. A regulamentação e responsabilidades legais também desempenham papéis para a importância dessas profissões (AUTOR, 2015).

Por outro lado, ocupações na parte de baixo da distribuição de salários, mesmo sendo menos sujeitas à automação, podem sofrer efeitos de compressão nos rendimentos. Ocupações intensivas em tarefas manuais, que não envolvem rotinas, são mais difíceis de terem seus procedimentos codificados (FREY; OSBORNE, 2017). Exemplos podem ser vistos nas ocupações de zeladores, faxineiros, motoristas, atendentes dos serviços de alimentação e saúde. O menor rendimento dessas profissões pode não justificar os custos da implementação de tecnologias de automação. Com baixas barreiras de qualificação, trabalhadores deslocados de ocupações codificáveis podem desempenhar essas ocupações, tornando a sua oferta mais elástica e diminuindo os seus ganhos.

No Brasil, Sulzbach (2020) observa um aumento no retorno salarial de tarefas cognitivas e tarefas manuais entre 2002 e 2014. O retorno de tarefas rotineiras não acompanhou o aumento das demais no mesmo período. Mensurando o preço das tarefas em cada ocupação, Sulzbach (2020) conclui que existe um processo de polarização do emprego e dos rendimentos no país, em linha com as tendências internacionais. Detoni, Freguglia e Corseuil (2020) também encontraram retornos salariais crescentes para ocupações intensivas em tarefas não rotineiras, analíticas e interativas, com perdas salariais em ocupações rotineiras.

No longo prazo, as forças de polarização podem ceder lugar a um aumento persistente da desigualdade de renda. Além da globalização do comércio e produção, as tecnologias de informação são centrais para o aumento da desigualdade. Autor *et al.* (2020) expõe a concentração de mercado em empresas *superstars* (como Alphabet, Amazon e Facebook) que auferem maiores margens de lucro, reduzindo a parcela dos salários destinados aos trabalhadores. Contrariando o fato estilizado de estabilidade na parcela de salários (KALDOR, 1961), Autor *et al.* (2020) mostram a queda da participação dos salários na renda nacional para

os países da OCDE a partir da década de 1980. Piketty (2014) aponta o aumento do retorno do capital em relação ao trabalho como um dos principais elementos de concentração de renda no longo prazo.

Por fim, considera-se que as tarefas rotineiras não são as únicas automatizáveis. Inovações tecnológicas progressivamente avançam na substituição das tarefas mais simples até as mais abstratas, em uma questão de décadas (FREY; OSBORNE, 2017). Nesse contexto, considera-se que uma profissão tende a ser eliminada quando grande parte de suas atividades são substituídas. Assim, a profissão transforma-se em outra, agregando diferentes tarefas sob uma nova denominação. Segundo Autor (2015), é comum no debate público que se superestime o potencial de substituição do trabalho humano, enquanto minimiza-se o potencial de complementaridade e necessidade de novas ocupações. Identificar as oportunidades de novas ocupações a partir da automação é tarefa não trivial e ainda não possui literatura e metodologia consolidadas.

Nesse contexto, visando contribuir para o debate sobre o tema, a seção seguinte apresenta a construção de algoritmos preditivos da propensão à automação com uma abordagem empírica, sem o uso de classificações *ad hoc*. A partir das estimativas de propensão à automação é possível realizar a análise quantitativa por setores da economia, mostrando um perfil detalhado dos potenciais efeitos das tecnologias de automação sobre o mercado de trabalho brasileiro.

### 3.3 METODOLOGIA

#### 3.3.1 Estimação da fronteira tecnológica de automação

O estudo realiza uma nova aplicação da metodologia *Bartik Occupational Tasks* (BOT) discutida em detalhes no Ensaio I. O BOT representa um método objetivo para estimação da fronteira tecnológica com o intuito de obter as tendências de automação no mercado de trabalho nacional. Esta fronteira é construída para o Estado de São Paulo, por ser o maior e mais vibrante centro econômico do país e, por suposição, o local onde as mudanças tecnológicas são implementadas primeiro, difundindo-se posteriormente para outros locais do país.

Essa fronteira representa o efeito diferencial de alterações na distribuição dos empregos entre as ocupações após remover os efeitos de crescimento total e crescimento de cada um dos setores. A mudança na composição dos empregos dentro dos setores é atribuída às alterações nas tecnologias de produção, ao reestruturar as relações de substituição (ou

complementaridade) entre capital e trabalho, decorrentes da introdução de tecnologias de automação.

Assim, a fronteira tecnológica é calculada para o período entre 2010 e 2018. Com as estimativas de automação para a fronteira tecnológica, parte-se para a atribuição das mudanças às tarefas das ocupações e à generalização para as demais ocupações. Em resumo, a RAIS de São Paulo é usada para encontrar o efeito diferencial por meio da modificação ocupacional do método *Shift-Share*, enquanto que a Matriz de Atividades da CBO passa pela análise TF-IDF. Os resultados de efeito diferencial e TF-IDF se unem para a classificação com o método BOT, que tem sua construção detalhada na próxima seção. O modelo é então usado para encontrar o efeito da automação sobre as ocupações na RAIS.

### 3.3.2 Predição da propensão à automação

O objetivo não é estimar o impacto da automação diretamente sobre as ocupações, mas sim, nas tarefas envolvidas em cada uma das ocupações. Para isso, utiliza-se os resultados da etapa anterior para a construção do *Bartik Occupational Tasks* (BOT), método que tem o objetivo de realizar a predição da propensão à automação com base nas tarefas de cada ocupação.

Para obter a informação das tarefas inerentes a cada ocupação utilizou-se a Matriz de Atividades da CBO 2002. A matriz de atividades mostra as tarefas envolvidas em cada ocupação. Por exemplo, a ocupação Administrador (252105) traz as atividades “Administrar organizações”, “Elaborar planejamento organizacional”, “Implementar programas e projetos”, entre outras.

Algoritmos de *Natural Language Processing* (NLP) permitem ponderar os termos das atividades que constituem cada ocupação e identificar a sua contribuição para o efeito diferencial de automação estimado na etapa anterior. Com isso, pôde-se generalizar a propensão à automação para as demais ocupações com base no peso relativo das tarefas. Para identificar o peso relativo das tarefas emprega-se a técnica *Term Frequency–Inverse Document Frequency* (TF-IDF). O valor do TF-IDF aumenta proporcionalmente à frequência em que uma palavra aparece em um extrato de texto em relação ao número de textos que contém essa palavra. Na formulação de Ramos (2003), dada uma coleção de documentos  $D$ , um termo  $w$ , e um documento único  $d \in D$ , calcula-se:

$$w_d = f_{w,d} * \log(|D| / f_{w,D}) \quad (1)$$

que  $f_{w,d}$  é a frequência relativa que  $w$  aparece em  $d$ ,  $|D|$  é o tamanho do conjunto de textos (*corpus*), e  $f_{w,D}$  o número de documentos em que  $w$  aparece em  $D$ . Termos com elevado  $w_d$  implicam que  $w$  é uma palavra importante em  $d$ , mas não é comum em  $D$ . Portanto, o termo  $w$  apresenta poder discriminatório em relação ao conjunto de todos os textos (RAMOS, 2003).

O método TF-IDF tem como principal limitação a impossibilidade de identificar flexões gramaticais de um mesmo termo (QAISER; ALI, 2018). Nesse caso, atividades com a grafia “analisar”, “análise” ou [*sic*] “analise” seriam vistas como diferentes. Por esse motivo, anterior ao TF-IDF faz-se um procedimento de *stemming*, que traz variações de termos para uma raiz comum. Aplica-se também um procedimento de remoção de *stopwords* para descartar conectores frasais como artigos, conjunções, números e caracteres especiais que não retêm valor semântico para a análise.

Assim, a análise TF-IDF da Matriz de Atividades da CBO oferece uma ponderação que permite descontar a importância de termos que são comuns às tarefas de outras ocupações, colocando maior ênfase nas tarefas únicas que as diferenciam. Assim,  $D$  é o conjunto de 20.003 descrições de atividades de 2.601 ocupações, resultando em 47 milhões de palavras. Por fim, a medida da importância das tarefas dentro de cada ocupação é calculada pela soma dos pesos relativos  $w_d$  obtidos. A matriz resultante possui 2.341 termos ponderados para 2.601 ocupações.

O *Bartik Occupational Tasks* (BOT) é então construído a partir da união dos resultados do TF-IDF com o efeito diferencial. O BOT considera a importância relativa da tarefa em cada ocupação como variável explicativa da propensão à automação obtida do efeito diferencial da fronteira tecnológica. Considera-se o modelo em (3) para realizar a atribuição do efeito diferencial diretamente aos termos constituintes das tarefas de cada ocupação:

$$BOT = f(w_{d_{111}} termo_{111}, \dots, w_{d_{ijk}} termo_{ijk}) \quad (2)$$

em que o BOT atribui o efeito diferencial de automação estimado para a fronteira tecnológica aos  $w_d$  pesos encontrados para cada termo  $i$ , que constituem as tarefas  $j$  de cada ocupação  $k$  extraídos na aplicação do método TF-IDF.

A fim de encontrar o melhor método para predição e seguindo as práticas da área de *machine learning*, subdivide-se a amostra de 2.601 ocupações em subamostras aleatórias de 70% do tamanho inicial, em um conjunto de treino e um conjunto de teste. Constrói-se os

modelos com dados do conjunto de treino, atribuindo um valor de importância relativa a cada uma das variáveis explicadas, e avalia-se o desempenho dos modelos frente ao conjunto de teste. O modelo selecionado é então usado para generalizar a importância relativa a todas as ocupações da base de dados da CBO, com base na importância das tarefas.

Foram tentados diferentes métodos econométricos e de *machine learning* para avaliar aquele que apresentava o melhor desempenho preditivo geral nos dados de teste. O método *Random Forest Regression* (BREIMAN, 2001) foi selecionado a partir de avaliações de acurácia e poder preditivo quando confrontado com modelos de regressão linear, modelos logísticos, e demais métodos de *machine learning*, como *Support Vector Machines* (SVM), *Support Vector Regression* (SVR) e *Decision Trees*.

Métodos *Random Forest* têm se tornado populares por oferecerem bom desempenho preditivo, especialmente em contextos de estimação em matriz esparsa (*sparsity*) (ATHEY; IMBENS, 2019). Ao transformar as tarefas pela análise TF-IDF, a matriz resultante é esparsa, com o número de variáveis regressoras superior ao número de observações. Nesse contexto, o desempenho do *Random Forest Regression* mostrou-se superior aos demais métodos com uma capacidade de acertos na predição acima de 92%, considerando uma validação cruzada em 764 subamostras aleatórias. O Apêndice A2 mostra os resultados do algoritmo *Random Forest*.

A partir desse procedimento, obtém-se as estimativas de propensão à automação para todas as ocupações da CBO. Esse número foi padronizado entre 1 (maior propensão à automação) e 0 (menor propensão). Deve-se realizar a leitura deste resultado em termos ordinais com o objetivo de ranquear as ocupações da mais à menos provável de ser automatizada. A classificação em relação à propensão à automação de cada ocupação depende do quartil da distribuição de propensão estimada na qual se encontra. Como em Albuquerque *et al.* (2019), classifica-se como “alta propensão à automação” as ocupações acima do 75º percentil; “média-alta propensão à automação” aquelas ocupações entre o 50º e 75º percentil; “média-baixa” entre 25º e 50º percentil; e “baixa” abaixo do 25º percentil. Ainda seguindo a literatura, considera-se que esses pontos de corte não devem ser vistos como estáticos, mas como uma classificação que depende do horizonte temporal. A literatura de automação reconhece que as tecnologias avançam sobre as ocupações ao deslocar-se o foco para uma, duas, ou três décadas à frente (FREY; OSBORNE, 2017).

### 3.4 RESULTADOS DE AUTOMAÇÃO

#### 3.4.1 A fronteira tecnológica de automação

A fim de justificar a mudança tecnológica a partir de tendências verificadas no passado recente, observou-se as mudanças ocorridas nas ocupações do setor privado do Estado de São Paulo, no período de 2010 e 2018.

Considera-se São Paulo como a fronteira tecnológica brasileira<sup>14</sup>, por possuir a segunda maior renda média entre os estados (IBGE, 2019), atuar como *hub* de contato internacional com elevado número de empresas multinacionais; concentrar 69,5% do total investido pelos estados brasileiros em pesquisa e desenvolvimento (INVESTESP, 2020); e por ter 42,9% do total de trabalhadores das áreas de *hardware*, *software*, serviços, nuvem e produção de tecnologia da informação (VALOR, 2018).

Com base na RAIS, o Estado de São Paulo apresentou 18,5 milhões de vínculos empregatícios em 2010 e 17 milhões em 2018, uma variação de -5,6%. Tal decréscimo no número de empregos pode estar relacionado tanto ao progresso técnico quanto à conjuntura econômica desfavorável. Os resultados da Pesquisa Mensal do Emprego (IBGE, 2019) também mostraram uma tendência de aumento no desemprego no período. Como as variações no nível de emprego não afetam de maneira homogênea os diferentes setores da economia e suas ocupações, busca-se extrair o efeito diferencial para entender a mudança na composição dos empregos dentro dos setores, atribuída à introdução de tecnologias de produção automatizáveis.

A Figura 1 contrasta o crescimento do emprego verificado em cada setor (Efeito Total) com o crescimento no emprego devido ao Efeito Diferencial. Este foi estimado pelo método BOT exposto na subseção 3.1 da Metodologia e Dados. Os resultados estão agregados por Grande Grupo da CBO, que considera 10 categorias de ocupações. O grupo 0, que contém forças armadas, policiais e bombeiros militares foi removido, já que a construção do efeito diferencial da fronteira tecnológica considera apenas os trabalhadores do setor privado.

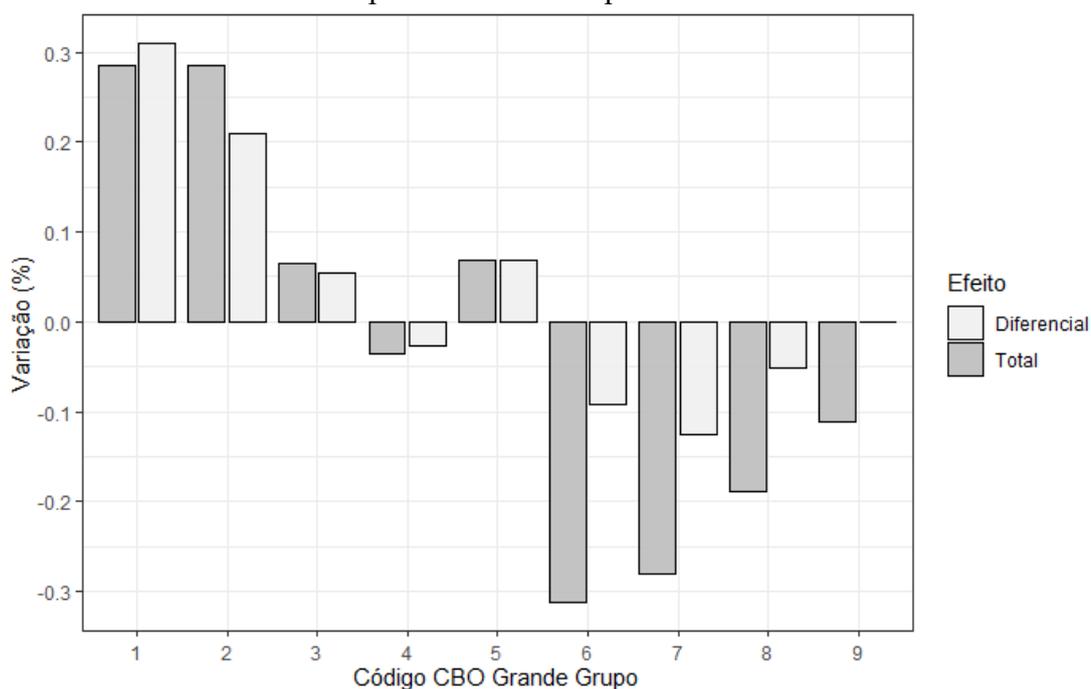
A Figura 1 mostra que o grupo de membros superiores do poder público, dirigentes de organizações de interesse público e de empresas e gerentes (+28,6%) foi o que mais cresceu em número total de empregos, seguido de profissionais das ciências e das artes (+28,5%) e

---

<sup>14</sup> O treinamento do modelo foi testado considerando outros estados da federação como fronteira. A classificação de propensão à automação se mostrou estável por meio de forte correlação de resultados entre São Paulo e: Rio de Janeiro (0,80), Minas Gerais (0,76) e Rio Grande do Sul (0,68).

trabalhadores dos serviços, vendedores do comércio em lojas e mercados (+6,9%). Os grupos que mostraram maior retração são os trabalhadores agropecuários, florestais e da pesca (-31,3%) e trabalhadores da produção de bens e serviços industriais, tanto de processos discretos (-28%) quanto de processos contínuos (-18,9%).

Figura 1 – Efeito total e diferencial por CBO no setor privado de São Paulo - 2010 a 2018.



Legenda – Códigos e Títulos CBO 2002 - Grande Grupo:

1 Membros superiores do poder público, dirigentes de organizações (...) de empresas e gerentes

2 Profissionais das ciências e das artes

3 Técnicos de nível médio

4 Trabalhadores de serviços administrativos

5 Trabalhadores dos serviços, vendedores do comércio em lojas e mercados

6 Trabalhadores agropecuários, florestais e da pesca

7 Trabalhadores da produção de bens e serviços industriais (processos discretos)

8 Trabalhadores da produção de bens e serviços industriais (processos contínuos)

9 Trabalhadores em serviços de reparação e manutenção

Fonte: elaboração própria.

Em termos diferenciais, o grupo de membros superiores do poder público, dirigentes de organizações de interesse público e de empresas e gerentes mostrou maior crescimento (+31%), seguido dos profissionais das ciências e das artes (+21%) e trabalhadores dos serviços, vendedores do comércio em lojas e mercados (+6,8%). Os grupos com maior retração diferencial foram os trabalhadores da produção de bens e serviços industriais (processos discretos) (-12,6%), trabalhadores agropecuários, florestais e da pesca (-9,2%) e trabalhadores da produção de bens e serviços industriais (processos contínuos) (-5,2%).

Em linha com a literatura, os grupos de ocupações que estão mais sujeitos à automação agregam trabalhadores de menor qualificação e menor remuneração, com tarefas que possuem maior possibilidade de serem padronizadas e codificadas em algoritmos (FREY; OSBORNE, 2017). Tais ocupações são mais comuns na produção de bens e serviços industriais, tanto em processos contínuos e discretos, assim como em atividades agropecuárias, florestais e da pesca. Por outro lado, ocupações que requerem o uso de criatividade na solução de problemas e inteligência social para comunicação e interação com equipes, são apontadas como menos propensas à automação (FREY; OSBORNE, 2017). Essa tendência se reflete no crescimento diferencial verificado nos grupos que incluem os membros superiores do poder público, dirigentes e gerentes de organizações em geral, assim como profissionais da ciência e das artes.

As características das ocupações automatizáveis encontradas com o método BOT condizem com os efeitos de automação apontados por estudos realizados para os Estados Unidos e países da OCDE, mesmo que tais estudos tenham sido baseados na opinião de especialistas (FREY; OSBORNE, 2017; ARNTZ; GREGORY; ZIERAHN, 2016). Sendo um método objetivo e replicável, construído dentro do contexto brasileiro, o BOT classifica as ocupações mais propensas à automação, atribuindo o efeito diferencial às tarefas exercidas em cada uma das ocupações. O efeito diferencial é calculado usando-se 49 subgrupos principais de ocupações, de acordo com a desagregação dada pela categorização de dois dígitos da CBO 2002.

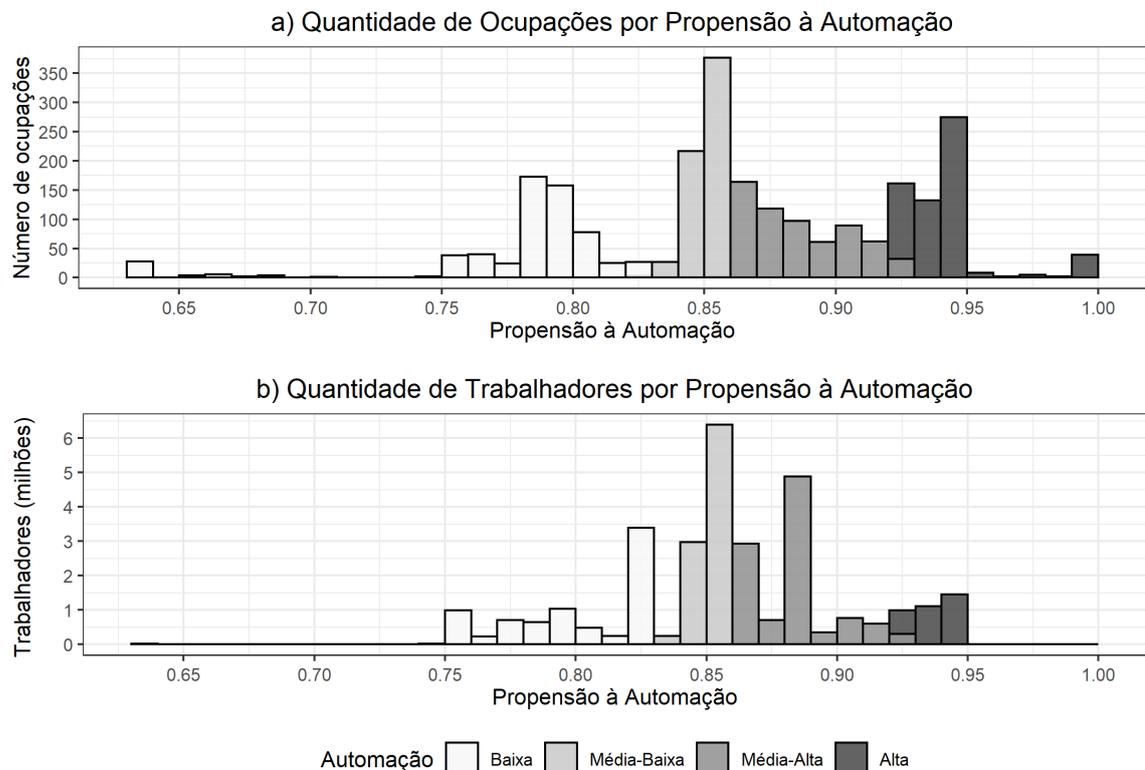
A partir das estimativas para a propensão à automação obtidas considerando a fronteira tecnológica de automação, avalia-se o efeito quantitativo da automação sobre as ocupações do mercado de trabalho brasileiro. Atribui-se os rótulos de “alta propensão à automação” às ocupações no quartil superior da distribuição de ocupações; “média-alta” às ocupações no terceiro quartil; “média-baixa” ao segundo quartil e “baixa” ao quartil menos propenso à automação.

O resultado deve ser lido como uma escala ordinal, e não cardinal. Assim, a propensão à automação não representa a probabilidade em si, mas ordena as ocupações da maior à menor propensão à automação. Em caso de empate, considerou-se a maior escolaridade média das ocupações para diferenciá-las, com base no relato de outros autores, em que a automação tende a impactar mais as profissões de menor qualificação (FREY; OSBORNE, 2017; ARNTZ; GREGORY; ZIERAHN, 2016).

A Figura 2.a) mostra a distribuição de ocupações em relação à propensão de automação, ou seja, representa o número de ocupações situadas em cada faixa. No total, são 2.496 ocupações selecionadas por apresentarem trabalhadores privados. Para fins de visualização, omitiu-se 14 ocupações dispersas abaixo de 0,6, contendo menos de 0,06% dos trabalhadores. As ocupações no tom mais escuro, com uma propensão acima de 0,92 representam as 624 ocupações em alta propensão à automação.

A Figura 2.b) mostra a distribuição do número de trabalhadores em cada ocupação ordenados pela propensão à automação. Do total de 31,5 milhões de trabalhadores analisados em 2018, 3,57 milhões são classificados em alta propensão à automação (11,3% do total). Em média-alta propensão encontram-se 10,55 milhões de trabalhadores (33,4% do total). Se estendermos o horizonte temporal de análise, pode-se considerar os grupos de alta e média-alta propensão como automatizáveis, obtendo um total de 44,8% do emprego.

Figura 2 – Distribuição de ocupações e trabalhadores por propensão à automação<sup>15</sup>.



Fonte: elaboração própria.

<sup>15</sup> A lista completa de ocupações por propensão à automação e rotinas para estimação são oferecidas por contato direto com o autor.

Apesar das diferentes metodologias, o resultado de 44,8% dos empregos estarem em alta e média-alta propensão à automação é inferior, mas não se distancia muito do que foi encontrado em outros estudos aplicados ao Brasil. Albuquerque *et al.* (2019) concluíram que até 55% de todos os trabalhadores formais de 2017 desempenhavam ocupações com risco de automação elevado ou muito elevado. Kubota e Maciente (2019) estimaram que cerca de 56,5% dos empregos formais no país possuem ocupações com alto ou médio-alto percentual de tarefas automatizáveis. Ambos estudos utilizam a mesma classificação de ocupações automatizáveis baseada em opiniões subjetivas de especialistas, construída por Albuquerque *et al.* (2019).

### 3.4.2 Ocupações propensas à automação

Após análise da distribuição de trabalhadores e ocupações de acordo com a classificação por automação, é importante detalhar as ocupações responsáveis pelos resultados encontrados. Agrupa-se as 2.496 ocupações em 489 famílias de ocupações, de acordo com a média da propensão à automação estimada. A agregação facilita a análise ao passo que agrupa dentro de uma mesma família as ocupações que exercem tarefas e possuem propensão à automação semelhantes.

A Tabela 1 mostra as ocupações com mais de mil trabalhadores ordenadas de forma decrescente, a partir da mais propensa à automação. Considera-se a quantidade de trabalhadores acima de mil, deixando de fora da visualização as ocupações menos relevantes para análise. A tabela inclui a quantidade de trabalhadores em cada ocupação, os anos médios de estudo e a remuneração média.

As ocupações com maior propensão à automação são as de produtores agropecuários e agrícolas. Dentre as tarefas realizadas por essas ocupações destacam-se: plantar culturas, beneficiar produtos de origem vegetal e animal, planejar alimentação e controlar sanidade e manejo de rebanho, comercializar produção agropecuária, administrar e montar infraestrutura da propriedade (CBO, 2002). Em geral, são atividades executadas como rotinas com baixo grau de abstração e baixa necessidade de qualificação. Essas ocupações possuem uma média entre 6 e 8 anos de escolaridade, equivalentes ao ensino fundamental.

Na sequência estão os trabalhadores de beneficiamento de minérios e trabalhadores da indústria da construção civil, como montadores de estruturas, de concreto armado e alvenaria, aplicadores de materiais isolantes, revestimentos e operadores de máquinas de terraplanagem (CBO, 2002). Essas ocupações têm em comum as atividades de operação, inspeção e

manutenção básica de máquinas pesadas. Ainda, trabalhadores da construção realizam o corte, montagem e aplicação de ferragens e armações. A escolaridade desses grupos varia entre 7 e 9 anos de estudo.

Tabela 1 – Famílias de ocupações ordenadas por propensão à automação – decrescente\*.

Posição	Título da ocupação	Código CBO	Prop. automação	Quantidade	Anos de estudo	Remuneração média
1	Produtores em pecuária de animais de grande porte	6131	0,9969	1.260	7,07	1.503
2	Produtores agropecuários em geral	6110	0,9565	2.650	7,26	1.377
3	Trabalhadores de beneficiamento de minérios	7121	0,9505	6.976	7,97	2.280
4	Produtores agrícolas polivalentes	6120	0,9499	2.619	6,69	1.499
5	Trabalhadores de montagem de estruturas [...] em obras civis	7155	0,9497	98.309	7,35	2.002
6	Supervisores da construção civil	7102	0,9495	85.677	8,67	3.614
7	Aplicadores de materiais isolantes	7157	0,9490	12.236	8,89	2.036
8	Trabalhadores de beneficiamento de pedras ornamentais	7122	0,9487	21.429	8,53	1.825
9	Trabalhadores na operação de máquinas de terraplenagem [...]	7151	0,9487	113.151	8,02	2.475
10	Aplicadores de revestimentos cerâmicos, pastilhas, pedras [...]	7165	0,9486	20.293	8,68	1.880

Fonte: elaboração própria.

Nota: \*Famílias de ocupações com mais de mil trabalhadores.

Em geral, os trabalhadores mais propensos à automação desempenham ocupações com baixa necessidade de qualificação e remuneração. A escolaridade equivale ao ensino fundamental e médio, com uma remuneração inferior à média nacional, calculada em R\$ 2.818 para trabalhadores em tempo integral (em valores de 2018). Assim, essa conclusão está em linha com outras pesquisas de automação que consideram um maior impacto da automação sobre as profissões de menor qualificação e menor nível salarial (ARNTZ; GREGORY; ZIERAHN, 2016; FREY; OSBORNE, 2017, ALBUQUERQUE *et al.*, 2019). Por sua vez, a Tabela 2 mostra as ocupações no extremo oposto da classificação de automação, ou seja, ordenadas a partir das famílias menos propensas à automação que contêm mais de mil trabalhadores.

Os profissionais menos propensos à automação são os chefes e tecnólogos de cozinha. Dentre suas principais atividades estão a criação de pratos e cardápios, planejamento de rotinas de trabalho, gerenciamento e capacitação de funcionários, gestão de estoques e preparação de alimentos (CBO, 2002). Em seguida, aparecem os artesãos em geral. Os artesãos fazem a

criação, confecção, finalização e comércio de produtos artesanais, aquisição e preparação de matéria prima e gerenciamento do próprio negócio. As tarefas de ambas ocupações requerem habilidades de difícil automação: a criatividade para criação de novos produtos e relacionamento interpessoal para gestão de equipes, do próprio negócio e comercialização dos produtos (CBO, 2002).

Tabela 2 – Famílias de ocupações ordenadas por propensão à automação – crescente\*.

Posição	Título da ocupação	Código CBO	Prop. auto- mação	Quan- tidade	Anos de estudo	Remu- neração média
1	Chefes de cozinha e afins	2711	0,0044	17.641	10,41	2.624
2	Artesãos	7911	0,2188	1.028	9,48	1.491
3	Pesquisadores das ciências biológicas	2030	0,6310	1.048	16,33	8.950
4	Pesquisadores de engenharia e tecnologia	2032	0,6316	11.856	15,28	10.858
5	Pesquisadores das ciências da saúde	2033	0,6319	1.935	15,45	8.993
6	Pesquisadores das ciências sociais e humanas	2035	0,6342	1.918	15,40	7.751
7	Pesquisadores das ciências da agricultura	2034	0,6366	1.322	16,89	11.046
8	Engenheiros de controle e automação, engenheiros mecâtrônicos e afins	2021	0,6693	2.665	15,05	9.023
9	Pesquisadores das ciências naturais e exatas	2031	0,7200	1.741	15,79	8.380
10	Gerentes de manutenção e afins	1427	0,7477	22.914	13,00	9.210

Fonte: elaboração própria.

Nota: \*Famílias de ocupações com mais de mil trabalhadores.

Em seguida, verifica-se ocupações de alta escolaridade e elevada remuneração, como pesquisadores de áreas diversas, engenheiros e cargos gerenciais. As atividades mais comuns entre os pesquisadores são as que envolvem desenvolvimento de novos materiais, produtos, processos e métodos. Além disso, há atividades de identificação de oportunidades, execução de projetos de pesquisa e prestação de consultoria técnica. Essas atividades estão na fronteira do conhecimento e longe de possibilitarem uma padronização em seus processos, dada a elevada complexidade das tarefas e necessidade de criatividade e inovação. Atividades de disseminação de conhecimento também são centrais às atividades de pesquisadores, ao orientar trabalhos de pesquisa, coordenar seminários, congressos e cursos, e capacitar equipes de futuros pesquisadores.

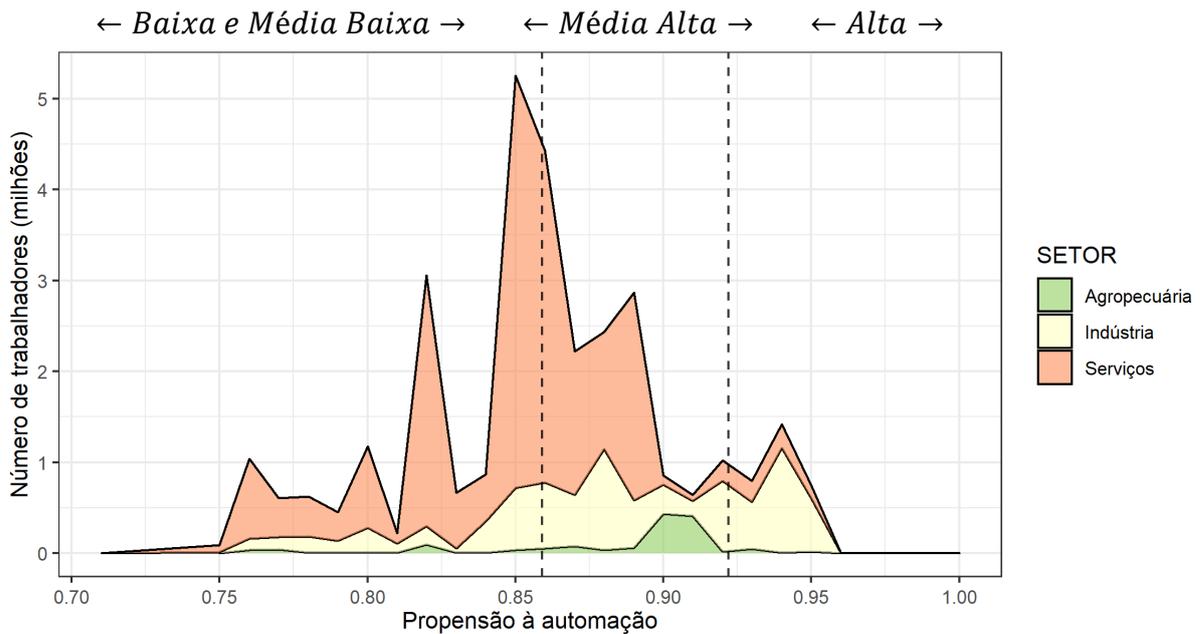
Ainda, entre as ocupações com mais baixa propensão à automação estão profissionais de engenharia, gestão e comunicação. Essas ocupações desempenham atividades centrais para o desenvolvimento das próprias tecnologias de automação, que ao ganharem espaço e

importância no mercado de trabalho, poderão demandar mais esforços e investimentos para a continuidade da sua evolução e disseminação pela sociedade.

### 3.4.3 Consequências setoriais da automação

A partir da classificação das ocupações por propensão à automação é possível visualizar os efeitos sobre cada setor da economia brasileira. A Figura 3 exibe a relação entre automação e emprego nos setores de serviços, indústria e agropecuária<sup>16</sup>. Do total de 31,5 milhões de vínculos privados em tempo integral registrados na RAIS de 2018, 68% estão no setor de serviços, 27,5% nos setores industriais e 4,5% na agropecuária.

Figura 3 – Distribuição do emprego por propensão à automação e setores.



Fonte: elaboração própria.

<sup>16</sup> A agropecuária inclui as divisões da CNAE 01 à 03 (Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aqüicultura). A indústria inclui as divisões da CNAE 05 à 43 (indústrias extrativas; indústrias de transformação; eletricidade e gás; água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação; e construção). O setor de serviços inclui as divisões da CNAE 45 à 99 (comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas; transporte, armazenagem e correio; alojamento e alimentação; informação e comunicação; atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados; atividades imobiliárias; atividades profissionais, científicas e técnicas; atividades administrativas e serviços complementares; administração pública, defesa e seguridade social; educação; saúde humana e serviços sociais; artes, cultura, esporte e recreação; outras atividades de serviços; serviços domésticos; organismos internacionais e outras instituições extraterritoriais).

Estima-se que 11,3% dos trabalhadores desempenham ocupações classificadas em alta propensão à automação, 33,4% em média-alta, e os 55,3% restantes em baixa e média-baixa propensão à automação. Um total de 3,6 milhões de trabalhadores encontram-se na região de alta propensão à automação e 10,6 milhões ao incorporar alta e média-alta automação.

Proporcionalmente, o setor da indústria é o mais afetado pela automação. Entre os empregos classificados em maior propensão, 75% são da indústria, o que representa 2,7 milhões de trabalhadores. O setor de serviços corresponde a cerca de 21% e a agropecuária a 4%. A Tabela 3 complementa a visualização com os resultados do emprego desagregado em cada seção de atividade.

No setor agropecuário, 7% dos trabalhadores estão nas ocupações de alta propensão, mas o percentual se eleva para 79,3% ao se considerar as ocupações de média-alta propensão à automação. Entre as ocupações com maior número de trabalhadores em alta propensão à automação no setor estão os produtores agrícolas e da pecuária, trabalhadores e ajudantes de obras, além de ocupações extrativistas vegetais e minerais. Entre as ocupações com baixa propensão, destacam-se trabalhadores da mecanização agropecuária e florestal, gerentes de produção e operações, agrônomos, biólogos e pesquisadores em geral.

Na indústria, incluindo construção civil, 31,4% do emprego está em alta propensão à automação. Neste grupo encontram-se trabalhadores de obras, trabalhadores de confecção de roupas e de calçados, condutores de veículos, operadores de movimentação de cargas, e assistentes administrativos em geral. Entre os menos automatizáveis estão os cargos de direção e organização de empresas, engenheiros, arquitetos e afins, técnicos em operações industriais e vendedores e demonstradores.

No setor de serviços, apenas 3,5% dos trabalhadores estão em alta automação e 33% se for considerada a média-alta propensão. Ocupam elevado número de empregos em alta propensão à automação os ajudantes construção, obras e acabamentos, de instalação, manutenção e montagem de estruturas e equipamentos diversos. Escriturários, assistentes e auxiliares administrativos em geral também estão em alta automação. Entre as ocupações com menos automatizáveis estão os trabalhadores em serviços de alimentação e hotelaria, vendedores e demonstradores e demais atividades comerciais. Diretores de empresas, engenheiros, profissionais da medicina, cientistas sociais e pesquisadores são as ocupações com menor propensão à automação.

Tabela 3 – Efeitos da automação sobre o emprego por setor e seção CNAE.

Setor	Seção CNAE	Denominação CNAE	Emprego em alta auto.	Emprego em alta e média-alta auto.	Trab. em alta auto. (mil)	Trab. em alta e média-alta auto. (mil)	Total de Trab. (mil)
<b>Agrop.</b>	A	Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	<b>7,0%</b>	<b>79,3%</b>	<b>99,4</b>	<b>1.132,6</b>	<b>1.427,8</b>
<b>Indústria</b>			<b>31,4%</b>	<b>68,1%</b>	<b>2.720,0</b>	<b>5.907,2</b>	<b>8.674,4</b>
	B	Indústrias extrativas	26,3%	59,6%	41,5	93,9	157,5
	C	Indústrias de transformação	23,8%	66,3%	1.499,1	4.178,4	6.302,4
	D	Eletricidade e gás	23,0%	45,3%	24,6	48,3	106,6
	E	Água, esgoto, atividades (...)	14,1%	46,0%	39,3	127,7	277,5
	F	Construção	60,9%	79,7%	1.115,5	1.458,9	1.830,4
<b>Serviços</b>			<b>3,5%</b>	<b>33,0%</b>	<b>754,7</b>	<b>7.084,8</b>	<b>21.443,1</b>
	G	Comércio; rep. de veículos (...)	3,7%	29,5%	316,5	2.528,2	8.556,4
	H	Transporte, armazenagem (...)	2,2%	66,5%	46,2	1.370,5	2.061,9
	I	Alojamento e alimentação	1,0%	8,3%	17,1	141,7	1.715,2
	J	Informação e comunicação	7,8%	36,5%	53,8	251,1	688,2
	K	Atividades financeiras (...)	0,5%	34,7%	2,9	200,6	577,9
	L	Atividades imobiliárias	9,7%	52,9%	13,2	72,2	136,5
	M	Atividades profissionais, (...)	7,3%	50,6%	68,4	471,5	931,9
	N	Atividades administrativas (...)	3,9%	23,6%	135,7	828,1	3.515,6
	O	Adm. pública, defesa (...)	4,2%	40,3%	1,9	18,3	45,4
	P	Educação	2,7%	29,2%	25,5	278,7	956,0
	Q	Saúde humana e serviços sociais	1,3%	41,4%	16,0	528,0	1.275,9
	R	Artes, cultura, esporte e recr.	10,2%	31,2%	18,4	56,5	181,0
	S	Outras atividades de serviços	4,9%	42,3%	39,0	337,8	798,4
	T	Serviços domésticos	6,7%	51,1%	0,2	1,2	2,4
	U	Organismos internacionais (...)	7,2%	51,5%	0,0	0,2	0,5
		<b>Totais</b>	<b>11,3%</b>	<b>44,8%</b>	<b>3.574,1</b>	<b>14.124,6</b>	<b>31.545,3</b>

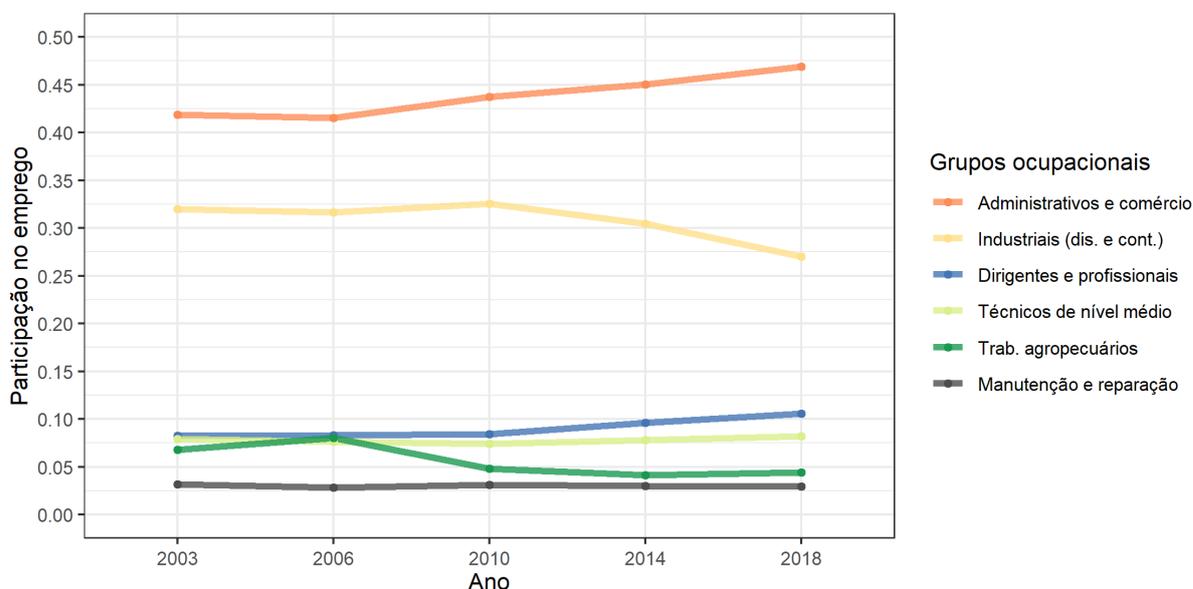
Fonte: elaboração própria.

Dessa forma, os resultados estão de acordo com as tendências de automação em ocupações de menor complexidade, intensas em tarefas manuais e de rotina. A indústria, que se utiliza de processos produtivos mais estruturados e padronizados em relação aos demais setores, está mais exposta a transformações por automatização. Já o setor de serviços, com ocupações de maior intensidade de tarefas não repetitivas, complexas e com necessidade de contato interpessoal apresenta o menor efeito da automação sobre o emprego. A seção seguinte aprofunda a discussão sobre fatores e tendências de automação.

### 3.5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

De acordo com a RAIS, o número de trabalhadores no mercado de trabalho formal brasileiro apresentou um crescimento próxima a 160% desde o início da década de 2000. Em 2003 existiam 19,3 milhões de empregos formais em tempo integral, enquanto em 2018 este número aumentou para 31,5 milhões de trabalhadores. As ocupações que mais cresceram estão nas áreas administrativas e de comércio, dirigentes de empresas e profissionais. Trabalhadores industriais e agropecuários mostraram relativa retração. A Figura 4 apresenta a evolução na participação das ocupações no emprego formal.

Figura 4 – Participação dos grupos de ocupações no emprego formal no Brasil – 2003 a 2018.



Fonte: elaboração própria.

Ao analisar-se os trabalhadores agropecuários, considera-se que estão inseridos em processos de crescente mecanização, tendo perdido participação no emprego ao longo das últimas décadas. Em 2018, o setor agropecuário representava ainda 4,5% dos empregos formais, pouco abaixo dos 4,9% registrados no início da década de 2000. Nos Estados Unidos, que possuem uma agricultura mais intensiva em capital, Katz e Margo (2014) mostram que o emprego agropecuário reduziu sua participação, caindo de 35,3% do total do emprego em 1900 para menos de 1% nos anos 2000.

A maior participação do emprego agropecuário no Brasil, em relação à economia norte-americana, é indício de que há espaço para o avanço da automação. De acordo com os resultados deste estudo, analisados na seção anterior, 79,3% dos trabalhadores dos setores da

agricultura e pecuária desempenham ocupações classificadas como alta e média-alta propensão à automação. Portanto, o efeito da automação atinge 1,1 milhão de trabalhadores formais no setor. Porém, o número total de trabalhadores automatizáveis pode ser ainda maior, já que a informalidade na agricultura familiar e trabalhadores sazonais (boias-frias) não é capturada pela RAIS. Segundo o DIEESE (2014), a informalidade atinge 59,4% dos trabalhadores rurais.

Os dados da RAIS (2018) também revelam retração na participação de trabalhadores industriais, com expressiva queda no emprego a partir de 2010. Grande parte dos estudos de automação se concentram em analisar os efeitos sobre a indústria, encontrando evidências sobre a destruição de empregos (ACEMOGLU; LELARGE; RESTREPO, 2020).

Em análise sobre a introdução de robôs na indústria francesa entre 2010 e 2015, Acemoglu, Lelarge e Restrepo (2020) encontram um efeito líquido de diminuição no emprego do setor, em que um aumento de 20 p.p. na adoção de robôs está associada a uma queda de 3,2% no emprego industrial. Há um efeito concorrencial entre empresas que induz a adoção de tecnologias de automação. Segundo Acemoglu, Lelarge e Restrepo (2020), as firmas que adotam robôs reduzem seus custos e crescem em relação as suas concorrentes. Por outro lado, firmas em que os competidores adotaram robôs sofreram perdas de participação no valor adicionado e no emprego (ACEMOGLU; LELARGE; RESTREPO, 2020).

No Brasil, Stemmler (2020) mostra que o aumento no uso de robôs faz com que o emprego se desloque para atividades produtivas de menor valor agregado. As regiões mais expostas a tecnologias estrangeiras apresentaram aumento no emprego de mineração, mas quedas no emprego manufatureiro. O efeito da automação é expressivo sobre as ocupações industriais por desempenharem atividades manuais e rotineiras em ambientes controlados. A previsibilidade do trabalho facilita a introdução de robôs e algoritmos de organização da produção (FREY; OSBORNE, 2017). Os resultados da seção anterior mostram que, entre os empregos classificados em maior propensão a automação, 75% são da indústria, o que representa 2,7 milhões de trabalhadores. No total, dos 8,7 milhões de trabalhadores industriais, 68,1% estão em alta e média-alta propensão à automação.

Internacionalmente, a automação pode redesenhar a distribuição dos empregos dentro e entre os países, afetando a sua competitividade. As principais forças por trás da movimentação internacional de mão de obra se encontram no aumento da competição de importações de países em desenvolvimento e na substituição de tarefas por *offshoring*. O *offshoring* consiste na transferência de ocupações realizadas a um custo menor em outros países (BLINDER, 2009).

A crescente inserção da China nas cadeias produtivas globais gerou efeitos negativos sobre o emprego e salários na manufatura no Estados Unidos (AUTOR; DORN; HANSON, 2013, 2016).

A automação pode viabilizar a reversão de tendência de *offshoring* por meio de um movimento de *reshoring*. Backer (2016) define o *reshoring*<sup>17</sup> como a volta de atividades produtivas ao país original ou em sua proximidade. O avanço da robótica torna os processos produtivos mais baratos em países desenvolvidos, favorecendo a produção local e acelerando a desindustrialização em países emergentes. Ao produzir no mercado local, as empresas têm redução em custos de transporte e tiram proveito da proximidade à mão de obra qualificada e abundante, considerada escassa em países emergentes. Segundo a CNI (2020), metade das indústrias no Brasil encontram dificuldades na contratação de mão de obra com a qualificação necessária.

A economia brasileira, por sua vez, é considerada por Ehrl (2017) como *onshoring*, já que possui vantagens comparativas na atração de tarefas de média complexidade e intensivas em rotinas manuais. Assim, o avanço da automação nos países desenvolvidos pode implicar em redução do emprego industrial brasileiro e dos setores correlatos.

Deve-se levar em conta ainda que a indústria tem forte efeito multiplicador sobre os empregos dos outros setores. Macedo e Monasterio (2016) mostram que, para cada emprego criado nos setores industriais, 4 novos empregos são criados nos setores de serviços. Nas indústrias de alta intensidade tecnológica, cada emprego criado gera 7 empregos adicionais no setor de serviços.

Ainda assim, seria superficial a interpretação de que todos 8,7 milhões de empregos industriais automatizáveis simplesmente viriam a desaparecer. A análise histórica mostra que, na revolução industrial do século XIX, teares mecânicos possibilitaram a automação de 98% do trabalho manual necessário para a fabricação de tecidos, mas ainda assim, o número de empregos fabris de tecelagem aumentou no período (BESSEN, 2015). Em mercados competitivos, a queda nos custos com trabalho permitiu a redução de preços e aumento da

---

<sup>17</sup> A literatura ainda diferencia o *reshoring* entre *backshoring* e *nearshoring*. *Backshoring* é a volta das atividades para o próprio país de origem. *Nearshoring* é o retorno das atividades para um país próximo ou vizinho. Fratocchi *et al.* (2015) aponta o *backshoring* como o fenômeno mais comum nos Estados Unidos e na Europa. Em anos recentes, cresceu o número de casos de empresas multinacionais repatriando seus processos produtivos, mas faltam estudos para afirmar a real relevância desses movimentos (BACKER *et al.*, 2016). As evidências são discutidas por Backer *et al.* (2016), Fratocchi *et al.* (2015) e Delis *et al.* (2019).

demanda por tecidos. Trabalhadores com habilidades não automatizáveis se tornaram cada vez mais necessários em outras atividades, como a coordenação da produção entre múltiplos teares. O emprego remanescente tornou-se cada vez mais valioso, observando aumentos nos seus rendimentos (BESSEN, 2015). Essa tendência resultou no aumento contínuo na parcela de ocupações de altas habilidades, como profissionais, técnicos e gerenciais, a partir de meados do século XIX e XX (KATZ; MARGO, 2014).

Efeito semelhante pôde ser visto na automatização dos serviços bancários nos Estados Unidos a partir dos anos 1990. Com a introdução de terminais informatizados de autoatendimento (ATM), o número de agências se multiplicou pelo país, com a valorização das tarefas de relacionamento com os clientes e personalização de produtos financeiros mais lucrativos (BESSEN, 2015).

A análise de automação mostrou que o setor de serviços, responsável por 21,4 milhões de empregos, apresenta 3,5% dos seus empregos na região de alta propensão e 33% em alta e média-alta propensão à automação. As ocupações do setor de serviços impõem maior resistência à automação por dependerem mais do contato interpessoal. As tarefas são realizadas em ambientes menos estruturados que nos setores agropecuário e industrial, com maior importância relativa de tarefas não rotineiras e cognitivas.

O avanço tecnológico tende a gerar no setor de serviços o maior número de novas ocupações. Autor e Salomons (2019) mostram que a automação avança das tarefas rotineiras mais simples em direção às mais complexas, restando aquelas tarefas marginais com maior dificuldade de codificação. Ocupações de fronteira surgem com a finalidade de desenvolver e implementar novas tecnologias (*frontier work*), oferecer serviços personalizados, de luxo e bem-estar pessoal (*wealth work*) e conduzir tarefas ainda não automatizáveis (*last-mile work*) (AUTOR; SALOMONS, 2019).

Todavia, os trabalhadores beneficiados pelas novas ocupações raramente são os mesmos afetados pela automação. Feigenbaum e Gross (2020) apontam que operadores telefônicos manuais substituídos por sistemas automatizados de discagem entre 1920 e 1940, se deslocaram para ocupações de menores salários ou deixaram a força de trabalho. Essas evidências suscitam o debate sobre a polarização de rendimentos, levando ao aumento da desigualdade e desafios para a requalificação de trabalhadores afetados negativamente pela automação.

A polarização do emprego tem sido reportada nos países desenvolvidos como o crescimento das ocupações nos extremos da distribuição de rendimentos. A polarização é

considerada um efeito imediato da adoção de tecnologias de automação (GOOS; MANNING, 2007; MANNING; SALOMONS, 2014). Ocupações de maior qualificação, com tarefas cognitivas complexas, e ocupações de menor qualificação, com salários abaixo do custo de automatização, atraem um maior número de trabalhadores, com um esvaziamento nas ocupações intermediárias.

Sulzbach (2020) encontra indícios de polarização no emprego brasileiro com o crescimento no número de trabalhadores nos quintis inferiores e superiores da distribuição de rendimentos, entre 1994 e 2017. Em termos salariais, porém, a polarização não se verificou. O que se observou foi um expressivo crescimento nos salários dos grupos de menor qualificação. Esse efeito pode ser explicado pelas políticas de valorização do salário mínimo que ocorreram no período (SULZBACH, 2020). Entre a implantação do Plano Real em 1994 e o final de 2017, o salário mínimo passou por uma valorização real de 197% (IPEADATA, 2021).

Sem políticas públicas ativas na suavização dos efeitos de transição no mercado de trabalho, as tendências de automação tendem a agravar os efeitos da polarização de rendimentos e desigualdade. Até o momento, são insuficientes os estudos que apontem quais serão as novas ocupações a surgir, mas fica cada vez mais claro que, para aproveitar todo potencial produtivo das tecnologias de automação, demanda-se habilidades complexas e de alta qualificação.

### 3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral deste estudo foi estimar os possíveis efeitos da automação no mercado de trabalho brasileiro. Para isso aplicou-se o método *Bartik Occupational Tasks* (BOT), desenvolvido no Ensaio I. Por meio deste método, realizou-se uma estimativa objetiva da trajetória das ocupações brasileiras em um contexto de crescente automação. A partir de informações observadas no mercado de trabalho, construiu-se algoritmos preditivos da propensão à automação usando técnicas de *Natural Language Processing* e de *Machine Learning* para extrair informações quantitativas a partir dos textos que descrevem as tarefas de cada uma das 2.627 ocupações da Classificação Brasileira de Ocupações.

Os resultados possibilitaram traçar um perfil detalhado do potencial efeito das tecnologias de automação sobre as ocupações. Mostrou-se que cerca de 11,3% dos trabalhadores desempenham ocupações classificadas em alta propensão à automação e 44,8% em situação de alta e média-alta propensão. Estimou-se que, nas próximas décadas, a automação possa afetar 7 milhões de empregos no setor de serviços, 6 milhões na indústria e 1 milhão na

agropecuária. Em geral, as ocupações mais propensas à automação apresentam menores níveis de escolaridade e remuneração.

As tendências aqui discutidas, como polarização do emprego, aumento da desigualdade e *reshoring* se baseiam em evidências ainda incipientes, mas apresentam fronteiras de pesquisa promissoras. Se verificadas, as consequências negativas do avanço da automação exigirão políticas públicas de redução de desigualdades no mercado de trabalho; de formação e treinamento de trabalhadores; e de desenvolvimento de novas habilidades e competências para o mercado de trabalho do futuro.

## REFERÊNCIAS

ACEMOGLU, D.; AUTOR, D. Skills, tasks and technologies: Implications for employment and earnings. In: **Handbook of Labor Economics** (Vol. 4), 2011.

ACEMOGLU, D.; LELARGE, C.; RESTREPO, P. Competing with Robots: Firm-Level Evidence from France. **AEA Papers Proceedings**, v. 110, p. 383–388, 2020.

ADAMCZYK, W. B.; MONASTERIO, L.; FOCHEZATTO, A. Impacto da Automação no Futuro do Emprego do Setor Público: uma aplicação ao Executivo Federal brasileiro. In: 48º Encontro Nacional de Economia, 2020, Brasília. **Anais do 48º Encontro Nacional de Economia**, 2020.

ALBUQUERQUE, P. H. M.; SAAVEDRA, C. A. P. B.; MORAIS, R. L.; PENG, Y. The Robot from Ipanema goes Working: Estimating the Probability of Jobs Automation in Brazil, **Latin American Business Review**, 20:3, 227-248, 2019.

ARNTZ, M.; GREGORY, T.; ZIERAHN, U. The risk of automation for jobs in OECD countries. **OECD Social, Employment and Migration Working Papers**, No. 189. Paris: OECD Publishing, 2016.

ARNTZ, M.; GREGORY, T.; ZIERAHN, U. Revisiting the risk of automation. **Economics Letters**, v. 159, p. 157-160, 2017.

ATHEY, S.; IMBENS, G. W. Machine learning methods that economists should know about. **Annual Review of Economics**, v. 11, p. 685-725, 2019.

AUTOR, D.; DORN, D.; HANSON, G. The China Shock: Learning from labor-market adjustment to large changes in trade. **Annual Review of Economics**, v. 8, p. 205-240, 2016.

AUTOR, D.; DORN, D.; HANSON, G. The China Syndrome: Local labor market effects of import competition in the United States. **American Economic Review**, v. 103, n. 6, p. 2121-68, 2013.

AUTOR, D., DORN, D., KATZ, L.F., PATTERSON, C., VAN REENEN, J. The Fall of the Labor Share and the Rise of Superstar Firms. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 135, n. 2, p. 645–709, 2020.

AUTOR, D.; LEVY, F.; MURNANE, R. The skill content of recent technological change: An empirical exploration. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 118, n. 4, p. 1279-1333, 2003.

AUTOR, D.; SALOMONS, A. New Frontiers: The Evolving Content and Geography of New Work in the 20th Century. **MIT Working Papers**, 2019.

AUTOR, D. Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation. **Journal of Economic Perspectives**, v. 29, n. 3, p. 3-30, 2015.

BACKER, K.; MENON, C.; DESNOYERS-JAMES, I.; MOUSSIEGT, L. Reshoring: Myth or Reality? **OECD Science, Technology and Industry Policy Papers**, n. 27, Paris: OECD Publishing, 2016.

BARTIK, T. J. **Who Benefits from State and Local Economic Development Policies?** Kalamazoo, Michigan: W. E. Upjohn Institute for Employment Research, 1991.

BESSEN, J. Toil and Technology. *Finance and Development*, v. 52, n. 1, 2015.

BLANCHARD, O. J; KATZ, L. F. Regional Evolutions. **Brookings Papers on Economic Activity**, v. 1, p. 1-75, 1992.

BLINDER, A. S. How many US jobs might be offshorable? **World Economics**, v. 10, n. 2, p. 41-78, 2009.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO. **Classificação Brasileira de Ocupações (CBO)**. Portal Emprega Brasil, 2019. Disponível em: <https://empregabrasil.mte.gov.br/76/cbo/>. Acesso em: 20 de jun. 2020.

BREIMAN, L. Random Forests. **Machine Learning**, v. 45(1), p. 5-32, 2001.

BRYNJOLFSSON, E.; McAfee, A. **The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies**. WW Norton & Company, 2014.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Falta de Trabalhador Qualificado**. Sondagem Especial, v. 20, n. 76. Brasília: CNI, 2020.

COMISSÃO NACIONAL DE CLASSIFICAÇÃO. **Classificação Brasileira de Ocupações – CBO**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. Disponível em: <https://concla.ibge.gov.br/classificacoes/por-tema/ocupacao/classificacao-brasileira-de-ocupacoes.html> . Acesso em: 22 de jun. 2020.

DELIS, A.; DRIFFIELD, N.; TEMOURI, Y. The global recession and the shift to re-shoring: myth or reality? **Journal of Business Research**, v. 103, p. 632-643, 2019.

DETONI, O. F.; FREGUGLIA, R.; CORSEUIL, C. H. Prêmio salarial associado às competências dos trabalhadores no Brasil. **Anais do 48º Encontro Nacional de Economia**. Brasília, 2020.

DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOCONÔMICOS. **O Mercado de Trabalho Assalariado Rural Brasileiro**. Estudos e Pesquisas, n. 74, 2014.

EHRL, P. Task Trade and Employment Patterns: The Offshoring and Onshoring of Brazilian Firms. **Journal of International Trade and Economic Development**, n. 27, v. 3, p. 235–66, 2017.

FEIGENBAUM, J.; GROSS, D. Automation and the Fate of Young Workers: Evidence from Telephone Operation in the Early 20th Century. **National Bureau of Economic Research**, n. w28061, 2020.

FIRPO, S.; FORTIN, N. M.; LEMIEUX, T. Occupational tasks and changes in the wage structure. **IZA Discussion Paper**, n. 5542, 2011.

FRATOCCHI, L.; BARBIERI, P.; ANCARANI, A.; DI MAURO, C.; TROIANO, A.; VIGNOLI, M.; ZANONI, A. Manufacturing Back- and Near-Reshoring: A Comparison of European and North American Evidence. In: STENTOFT, J.; PAULRAI A.; VASTAG G. (org.) **Research in the Decision Sciences for Global Supply Chain Network Innovations**. Pearson, p. 107-128, 2015.

FREY, C.; OSBORNE, M. The Future of Employment: how susceptible are jobs to computerisation? **Technological forecasting and social change**, v. 114, p. 254-280, 2017.

GOLDIN, C.; KATZ, L. F. The Origins of Technology-Skill Complementarity. **The Quarterly Journal of Economics**, 113(3), 693–732, 1998.

GOLDSMITH-PINKHAM, P.; SORKIN, I.; SWIFT, H. Bartik instruments: What, when, why, and how. **National Bureau of Economic Research**, 2018.

GOOS, M.; MANNING, A. Lousy and Lovely Jobs: The Rising Polarization of Work in Britain. **Review of Economics and Statistics** 89(1): 118–33. 2007.

GOOS, M., MANNING, A.; SALOMONS, A. Explaining Job Polarization: Routine-Biased Technological Change and Offshoring. **American Economic Review**, 104(8): 2509–26. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua – PNAD 2019**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/17270-pnad-continua.html>. Acesso em: jun. 2020.

INVESTESP. Por que SP. Disponível em: <https://www.investe.sp.gov.br/por-que-sp/>. Acesso em: 15 de jun. de 2020.

IPEADATA. Salário mínimo real – Frequência mensal de 1940.07 até 2020.12. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2021. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=37667> . Acesso em: 08 de jan. de 2021.

JAIMOVICH, N.; SIU, H. E. Job polarization and jobless recoveries. Technical Report, NBER Working Paper No. 18334. **National Bureau of Economic Research**, 2012.

KATZ, L. F., MARGO, R. A. Technical Change and the Relative Demand for Skilled Labor: The United States in historical perspective. *In*: BOUSTAN, L.P.; FRYDMAN, C.; MARGO, R.A. **Human Capital in History: The American Record**. University of Chicago Press, 2014.

KUBOTA, L. C.; MACIENTE, A. N. Propensão à automação das tarefas ocupacionais no Brasil. **Radar: tecnologia, produção e comércio exterior**, v. 61. Brasília: IPEA, 2019.

LOBO, L. C. Inteligência Artificial e Medicina. **Revista Brasileira de Educação Médica**, v. 41, n. 2, p. 185-193, 2017.

MACEDO, G.; MONASTERIO, L. Local multiplier of industrial employment: Brazilian mesoregions (2000-2010). **Brazilian Journal of Political Economy**, 36(4), 827-839, 2016.

MACIENTE, A. N.; RAUEN, C. V.; KUBOTA, L. C. Tecnologias digitais, habilidades ocupacionais e emprego formal no Brasil entre 2003 e 2017. **Mercado de Trabalho: conjuntura e análise**, v. 66. Brasília: IPEA, 2019.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **A Future That Works**: automation, employment, and productivity. McKinsey & Company, 2017.

Mercado de tecnologia movimentou R\$ 467,8 bilhões no Brasil em 2017. **Valor Econômico**, 20 de abril de 2018. Disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2018/04/20/mercado-de-tecnologia-movimentou-r-4678-bilhoes-no-brasil-em-2017.ghtml>. Acesso em: 15 de jun. 2020.

O\*NET. **Content Model Reference**. O\*NET Resource Center. 2019. [<https://www.onetcenter.org/content.html>]

QAISER, S.; ALI, R. Text mining: use of TF-IDF to examine the relevance of words to documents. **International Journal of Computer Applications**, v. 181, n. 1, p. 25-29, 2018.

RELAÇÃO ANUAL DE INFORMAÇÕES SOCIAIS. **Manual de Orientação da RAIS** – ano-base 2018. Brasília: MTb, SPES, 2019.

RAMOS, J. Using TF-IDF to determine word relevance in document queries. **Proceedings of the first instructional conference on machine learning**, v. 242, p. 133-142, 2003.

SPITZ-OENER, A. Technical change, job tasks, and rising educational demands: looking outside the wage structure. **Journal of Labor Economics**, v. 24, n. 2, p. 235-270, 2006.

STEMMLER, H. Automated Deindustrialization: How Global Robotization Affects Emerging Economies - Evidence from Brazil. **CEGE Discussion Papers**, n. 382, 2020.

SULZBACH, V. N. **Essays on job polarization in the Brazilian labor market**. 2020. 112 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Ciências Econômicas, Programa de Pós-Graduação em Economia, Porto Alegre, 2020.

TINBERGEN, J. Substitution of Graduate by Other Labour. **Kyklos**, v. 27, 217–226, 1974.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The Future of Jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution**, 2016.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mercado de trabalho brasileiro está mudando rapidamente. Inovações tecnológicas são, historicamente, o motor da transformação das relações de trabalho e de produção. Oportunizadas pela disseminação recente de ferramentas computacionais, inteligência artificial e grande volume de dados, as tecnologias de automação remodelam as fronteiras para o trabalho puramente humano.

Motivada pela necessidade de identificação dos efeitos futuros que a automação pode trazer para os trabalhadores dos setores público e privado no Brasil, a presente tese analisou os diferentes efeitos e tendências de automação nas próximas três décadas. Assim, sumariza-se as conclusões finais obtidas pelos três ensaios.

No Ensaio I, “Automação no futuro do emprego do setor público: aplicação ao Executivo Federal”, analisou-se os efeitos das tecnologias de automação sobre as ocupações do setor público. Estimou-se que 104,5 mil dos 521,7 mil servidores do Executivo Federal, cerca de 20% do total, encontram-se em ocupações com elevado potencial a terem suas tarefas atribuídas a sistemas automatizados no futuro próximo. Como contribuição original, o Ensaio I construiu uma nova metodologia de estimação de automação, tendo como base as tendências de automação verificadas empiricamente. Assim, evitou-se fazer o uso de classificações subjetivas ou *ad hoc*, em contraste com trabalhos anteriores. O método *Bartik Occupational Tasks* (BOT) ainda possibilitou realizar as análises dos Ensaios II e III.

No Ensaio II, “Automação e aposentadoria de servidores no governo Executivo Federal brasileiro”, analisou-se as tecnologias de automação como soluções alternativas para a reposição de servidores por motivos de aposentadoria nas próximas três décadas. Para esse fim, construiu-se projeções para o déficit de servidores, e os déficits esperados após a adoção de soluções de automação e realocação de servidores. Os resultados apontaram que, *ceteris paribus*, cerca de 232 mil servidores estarão aptos a se aposentar a partir de 2030. Após plena adoção de tecnologias de automação, 179 mil cargos permaneceriam em aberto. Contando com a flexibilização na realocação de servidores, 128 mil cargos permaneceriam com necessidade de reposição.

No Ensaio III, “Automação e ocupações no Brasil: novas estimativas”, investigou-se o potencial efeito das tecnologias de automação sobre o mercado de trabalho privado no Brasil. Analisou-se a evolução histórica das mudanças ocupacionais e projetou-se que

aproximadamente 11% dos trabalhadores estão em ocupações classificadas em alta propensão à automação. Uma análise menos conservadora, incluindo trabalhadores em situação de alta e média-alta propensão, encontrou que 45% dos trabalhadores são automatizáveis. Esse percentual vai ao encontro de análises anteriores dos efeitos da automação em mercados de trabalho ao redor do mundo. Estimou-se que a automação possa afetar 7 milhões de empregos no setor de serviços, 6 milhões na indústria e 1 milhão na agropecuária.

Em geral, as ocupações mais propensas à automação apresentam menores níveis de escolaridade e remuneração. Essas conclusões são válidas tanto para o setor público quanto para o setor privado. Assim, mostrou-se que são reais as preocupações quanto aos efeitos sociais negativos gerados pelo aumento do desemprego tecnológico, polarização no mercado de trabalho e aumento da desigualdade de rendimentos. Efeitos positivos sobre o crescimento econômico, redução de custos e aumento da produtividade também podem decorrer das tecnologias de automação. O aproveitamento das oportunidades estará condicionado às políticas públicas e privadas de formação, treinamento e desenvolvimento de novas competências para mercado de trabalho do futuro.

## APÊNDICE A1 – DETALHAMENTO DO DÉFICIT DE SERVIDORES

Tabela A1 – Déficit de servidores D1, D2 e D3 por órgão superior em 2030.

Órgão Superior	Total de Servidores	Servidores Aposentados em 2030		Aposentados em Alta Automação			Aposentados em Baixa Automação		Ativos em Alta Automação		Aposentados em Alta e Realocação	
		(D1)	(%)	(D2)	(%)	(D3)	(%)	(%)	(%)			
MEC	251.315	82.884	33,0	15.366	67.518	26,9	31.923	35.595	14,2			
MS	65.668	44.379	67,6	8.436	35.943	54,7	3.383	32.560	49,6			
MDS	32.246	17.038	52,8	1.616	15.422	47,8	111	15.311	47,5			
MJ	29.233	12.075	41,3	1.866	10.209	34,9	1.949	8.260	28,3			
MF	29.784	14.689	49,3	3.003	11.686	39,2	2.288	9.398	31,6			
MP	23.318	17.563	75,3	6.086	11.477	49,2	2.280	9.197	39,4			
PR	17.430	7.527	43,2	2.884	4.643	26,6	571	4.072	23,4			
MD	15.096	9.527	63,1	4.108	5.419	35,9	1.298	4.121	27,3			
MAPA	7.970	5.463	68,5	1.812	3.651	45,8	337	3.314	41,6			
MMA	6.355	2.761	43,4	1.054	1.707	26,9	824	883	13,9			
MT	4.985	1.952	39,2	867	1.085	21,8	401	684	13,7			
MCTIC	7.330	3.780	51,6	1.606	2.174	29,7	1.051	1.123	15,3			
MTB	6.893	3.416	49,6	1.386	2.030	29,5	1.826	204	3,0			
MDIC	3.468	1.091	31,5	523	568	16,4	499	69	2,0			
MRE	3.261	1.609	49,3	493	1.116	34,2	138	978	30,0			
CGU	2.116	594	28,1	56	538	25,4	48	490	23,2			
MME	2.885	1.088	37,7	348	740	25,6	334	406	14,1			
MIN	2.465	1.663	67,5	605	1.058	42,9	150	908	36,8			
MINC	3.125	1.380	44,2	698	682	21,8	917	-235	-7,5			
MPS	349	56	16,0	1	55	15,8	0	55	15,8			
MCID	445	97	21,8	17	80	18,0	88	-8	-1,8			
MDH	238	59	24,8	15	44	18,5	13	31	13,0			
MTUR	393	86	21,9	34	52	13,2	161	-109	-27,7			
ME	276	85	30,8	23	62	22,5	31	31	11,2			
MDA	92	36	39,1	1	35	38,0	0	35	38,0			
MC	46	19	41,3	11	8	17,4	0	8	17,4			
OUTROS	3.605	1.457	40,4	703	754	20,9	300	454	12,6			
Total	520.387	232.374	44,7	53.618	178.756	34,3	50.921	127.835	24,6			

Fonte: elaboração própria.

## APÊNDICE A2 – RESULTADOS DO *RANDOM FOREST*

Tabela A2 – Especificação e resultados do modelo *Random Forest Regression* (BOT).

Especificação	Valor
var. dependente	<i>ed_log</i>
var. independentes	2293 termos
núm. observações	2601 ocupações
Split da amostra	
<i>treinamento</i>	0,70
<i>teste</i>	0,30
<i>type</i>	<i>regression</i>
<i>ntree</i>	500
<i>mtry</i>	764
<i>time (minutes)</i>	6,12
Treino (interno)	
$R^2$ ( <i>mean</i> )	0,91
$R^2$ ( <i>sd</i> )	0,01
<i>MSE (mean)</i>	0,0006
<i>MSE (sd)</i>	0,0000
<i>RMSE (mean)</i>	0,0252
<i>RMSE (sd)</i>	0,0013
Teste (predição)	
$R^2$	0,92
<i>MSE</i>	0,0006
<i>RMSE</i>	0,0249

Nota: a amostra foi dividida em conjunto de treinamento (interno) e conjunto de testes (predição). *ntree* é o número de árvores *default* da função enquanto *mtry* é o número de subamostras aleatórias automáticas. Menores valores Mean Squared Error (MSE) e Root Mean Squared Error (RMSE) indicam um melhor ajuste do modelo. O modelo foi estimado com a função de mesmo nome do pacote *randomForest* v.4.6-14 no R.

Fonte: elaboração própria.



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Pró-Reitoria de Graduação  
Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 1 - 3º. andar  
Porto Alegre - RS - Brasil  
Fone: (51) 3320-3500 - Fax: (51) 3339-1564  
E-mail: [prograd@pucrs.br](mailto:prograd@pucrs.br)  
Site: [www.pucrs.br](http://www.pucrs.br)