

Título do capítulo	CAPÍTULO 7 AUTOMAÇÃO E MERCADO DE TRABALHO: ANÁLISE DA LITERATURA E EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS
Autor(es)	Anna Carolina M. L. Ribeiro Pedro Cavalcanti G. Ferreira Carlos Denner dos Santos Junior
DOI	DOI: http://dx.doi.org/10.38116/9786556350660cap7

Título do livro	Digitalização e tecnologias da informação e comunicação: oportunidades e desafios para o Brasil
Organizadores(as)	Luis Claudio Kubota
Volume	1
Série	-
Cidade	Rio de Janeiro
Editora	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)
Ano	2024
Edição	1a
ISBN	9786556350660
DOI	DOI: http://dx.doi.org/10.38116/9786556350660

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – ipea 2024
© Nações Unidas 2024
LC/BRS/TS.2024/1

As publicações do Ipea estão disponíveis para *download* gratuito nos formatos PDF (todas) e EPUB (livros e periódicos). Acesse: <https://repositorio.ipea.gov.br/> e <https://www.cepal.org/es/publications>

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério do Planejamento e Orçamento e da Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) ou as dos países que representa.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas. Os Estados-membros das Nações Unidas e suas instituições governamentais podem reproduzir este estudo sem autorização prévia. É solicitado, apenas, que mencionem a fonte e informem à CEPAL sobre essa reprodução.

Este estudo foi elaborado no âmbito do Programa Executivo de Cooperação entre a CEPAL e o Ipea.

Os limites e nomes mostrados nos mapas incluídos neste documento não implicam o seu endosso oficial ou aceitação pelas Nações Unidas.

AUTOMAÇÃO E MERCADO DE TRABALHO: ANÁLISE DA LITERATURA E EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS

Anna Carolina M. L. Ribeiro¹
Pedro Cavalcanti G. Ferreira²
Carlos Denner dos Santos Junior³

1 INTRODUÇÃO

A automação das atividades econômicas é um fenômeno em expansão. Embora ainda não seja uniforme entre regiões e setores de atividade, a longo prazo é provável que se torne uma realidade generalizada. É fundamental, portanto, entender os impactos da automação e como ela afeta os trabalhadores e o mercado de trabalho, incluindo seus efeitos sobre os rendimentos, o nível de emprego e a distribuição funcional da renda, tanto entre trabalhadores e donos de capital quanto entre trabalhadores com diferentes habilidades técnicas e cognitivas.

Apesar dessa importância, ainda não há consenso sobre os reais efeitos da adoção de robôs nas empresas. Embora há anos isso seja tema amplamente discutido nos debates econômicos, faltam respostas conclusivas. Se parece evidente que essas tecnologias trazem algum ganho de produtividade, aumentando a capacidade econômica de setores, regiões ou países, não é claro como seus benefícios são distribuídos, em especial no mercado de trabalho.

Uma das principais razões para essa falta de consenso é a existência de diferentes abordagens teóricas. A forma como a mudança tecnológica é modelada afeta as previsões sobre os efeitos da automação no mercado de trabalho e suas consequências distributivas. Modelos de crescimento econômicos usuais, por exemplo, consideram a tecnologia como neutra em termos de fatores de produção, aumentando de forma proporcional a produtividade do trabalho e do capital e gerando ganhos generalizados, sem alterações na distribuição da renda. Já as versões mais sofisticadas desses modelos enxergam a mudança tecnológica como

1. Técnica de desenvolvimento e administração e coordenadora-geral de Gestão de Pessoas (CGPES) do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). *E-mail*: anna.ribeiro@ipea.gov.br.

2. Técnico de desenvolvimento e administração na Coordenação de Ciência de Dados (COCD) do Ipea. *E-mail*: pedro.ferreira2@ipea.gov.br.

3. Professor do Departamento de Administração e do Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade de Brasília (UnB).

capaz de “aumentar” um fator específico de produção – o capital ou o trabalho – com algum efeito, porém, limitado, nos ganhos do trabalho, no nível de emprego e na distribuição dos rendimentos da produção.

Acemoglu e Restrepo (2018) destacam uma visão mais completa do fenômeno ao considerar uma característica distintiva da automação: o uso de máquinas para substituir o trabalho humano em uma ampla gama de tarefas. Nesses modelos baseados em tarefas (*task-based*), que tratam os robôs como substitutos do recurso humano, o desenvolvimento tecnológico pode reduzir a demanda por trabalho, assim como a participação da renda do trabalhador no total da economia. Uma condição para que isso se verifique é que os ganhos de produtividade da automação sejam limitados. Ou seja, as tecnologias mais ameaçadoras ao trabalho não são as que aumentam significativamente a produtividade, mas sim aquelas que, embora apresentem ganhos suficientes para justificar sua adoção pelas empresas, não sejam disruptivas a ponto de criar um efeito de produtividade que compense o deslocamento dos trabalhadores.

Outro ponto fundamental na teoria baseada em tarefas é que os modelos indicam algumas implicações da automação na desigualdade entre trabalhadores de diferentes níveis de habilidades técnicas e cognitivas, bem como as condições sob as quais essa automação pode ser mais ou menos prejudicial para diferentes grupos e perfis populacionais – na linha de hipóteses como a *routine biased technical change* e a *skill-biased technological change*, apresentadas por Autor, Levy e Murnane (2003).

Em última instância, os modelos teóricos são especulações sobre a realidade que precisam de validação empírica. Também existem, porém, desafios significativos para a avaliação empírica sobre como a automação impacta o mercado de trabalho. Os dados muitas vezes são observacionais e não experimentais, o que pode resultar em diversos vieses de autosseleção e outros tipos de endogeneidade que dificultam a obtenção de estimativas causais confiáveis.

Há ainda questões relacionadas ao nível de agregação das análises. Evidências encontradas no nível das firmas podem ser erroneamente generalizadas, levando a interpretações equivocadas sobre os efeitos da automação, como mostraram Acemoglu, Lelarge e Restrepo (2020). O crescimento das empresas que adotam robôs pode ser resultado apenas da realocação da produção e da mão de obra ao custo de seus concorrentes. Ou seja, embora os robôs possam trazer benefícios para a empresa, é importante ressaltar que, em termos agregados, seu uso pode resultar em uma diminuição líquida do emprego em determinados setores. Logo, faz-se necessário considerar o nível de agregação das análises ao avaliar o impacto da tecnologia de automação no mercado de trabalho.

De forma semelhante, análises de equilíbrio parcial que consideram apenas setores específicos, como a indústria, podem levar a conclusões erradas. O estudo de Dauth *et al.* (2021), por exemplo, indica que as perdas de emprego na indústria manufatureira devido à automação foram completamente compensadas pelo crescimento no setor de serviços. Na mesma linha, Mann e Püttmann (2021) demonstraram que o efeito líquido da automação no emprego também é positivo devido ao crescimento do emprego no setor de serviços. Ou seja, alguns resultados adversos da robotização se limitariam a certos setores ou regiões, e a dinâmica geral do mercado de trabalho aparenta ter efeito mitigador.

É necessário, portanto, manter um esforço contínuo para produzir novas análises empíricas, adaptadas a contextos específicos e à necessidade de conhecimento para a formulação de políticas públicas. As autoridades governamentais precisam se preocupar com essas questões, pois políticas públicas baseadas em evidências serão fundamentais para enfrentar os desafios que surgem com a automação.

Esses desafios estarão cada vez mais presentes em diversos setores: no planejamento do sistema de ensino e na implementação de programas de realocação e requalificação técnico-profissional, voltados às tarefas em que o trabalho humano continuará a ter vantagens competitivas; na estruturação do sistema tributário, mais progressivo, capaz de mitigar o possível agravamento das desigualdades; e nas políticas de transferência de renda, que deverão ser capazes de atender aos que vierem a ser mais afetados pelo deslocamento do trabalho.

Este capítulo é um esforço, ainda que limitado, de levantar evidências empíricas a respeito da automação, especificamente da adoção de robôs, e suas consequências para o mercado de trabalho. Inicialmente, desenvolve-se uma revisão crítica dos principais resultados recentes da literatura empírica, com destaque para os estudos que tratam do Brasil e de outros países em desenvolvimento. Em seguida, apresenta-se uma breve análise sobre automação e mercado de trabalho no país.

Utilizam-se dados da TIC Empresas, *survey* que inquiriu sobre o uso de tecnologias de automação, combinados com informações da Relação Anual de Informações Sociais (Rais) identificada, para investigar os padrões e tendências do emprego, dos salários e da desigualdade de rendimentos nas empresas que adotaram robôs de serviço ou industriais nos últimos anos.

Essas estimativas revelam que, mesmo quando as características das empresas são controladas, há indicativos de que as firmas automatizadas têm maiores níveis de emprego e salários mais elevados. Ao mesmo tempo, os resultados trazem evidências de que o uso de tecnologias de automação tem repercussões na desigualdade, pelo menos em se tratando da demanda por diferentes tipos de trabalhadores.

Empresas que utilizam robôs de serviços empregam uma proporção 9 pontos percentuais (p.p.) superior de trabalhadores qualificados, enquanto têm uma fatia de empregados menos qualificados semelhante às demais. Entre aquelas que adotam robôs industriais, há redução estatisticamente relevante entre os empregados com menor qualificação, de 6 p.p., e aumento de quase 5 p.p. entre os de formação superior.

2 AUTOMAÇÃO E MERCADO DE TRABALHO: O QUE DIZ A LITERATURA EMPÍRICA

2.1 Risco de automação

Na introdução deste capítulo, mencionou-se que, de acordo com Acemoglu e Restrepo (2018), a automação se destaca das demais formas de mudanças tecnológicas por substituir uma ampla variedade de tarefas realizadas por seres humanos. No entanto, é importante questionar quais tarefas serão automatizadas em um futuro próximo e qual o potencial de automação no mercado de trabalho de uma região ou país, considerando a estrutura ocupacional e o modo como as tarefas automatizadas afetam as atividades de cada ocupação. Essas informações são cruciais para avaliar os impactos dos robôs e implementar políticas públicas adequadas para enfrentá-los.

Por esse motivo, esta revisão aborda uma coleção de estudos que buscaram calcular a probabilidade de automação de ocupações e, com base nisso, estimar o risco geral de automação nos mercados de trabalho. O artigo mais citado nessa literatura, Frey e Osborne (2017), calculou o impacto da computadorização (automação por equipamentos controlados por computador) nas ocupações por meio de uma metodologia que envolveu a consulta a um grupo de especialistas em automação e técnicas de *machine learning*. Os autores estimaram probabilidades de automação para cada uma das 702 ocupações listadas no Occupational Information Network (O*NET), banco de dados com características e requisitos das ocupações encontradas no mercado de trabalho norte-americano, e concluíram que cerca de 47% dos empregos nos Estados Unidos estavam em funções com alto risco de serem substituídas por robôs nas próximas duas décadas.

Desde a publicação, o trabalho de Frey e Osborne (2017) incentivou a aplicação dos mesmos métodos em estudos sobre diversos países, entre os quais quatro, voltados ao mercado de trabalho latino-americanos, se destacam. O primeiro, de Brambilla *et al.* (2021), é de especial interesse porque combinou as probabilidades de automação com dados sobre trabalhadores e mercados de trabalho obtidos em pesquisas domiciliares de Argentina, Brasil, Colômbia, Chile, México e Peru. Os autores identificaram um risco de automação consideravelmente maior nesse conjunto de países em comparação com os Estados Unidos. Na América Latina, 62% do mercado de trabalho encontra-se em uma faixa de elevada probabilidade,

fato explicado pela estrutura de ocupações fortemente baseada, nas palavras dos autores, em trabalhos de baixa e média habilidade que envolvem tarefas intensas e rotineiras.

Brambilla *et al.* (2021) indicam ainda que o impacto futuro da robotização poderá ser bastante heterogêneo, contribuindo para o aumento das desigualdades na região. Os resultados indicam que o risco de automação é maior para os trabalhadores mais jovens e com até o ensino médio incompleto. Para os trabalhadores mais educados, com 17 anos ou mais de educação formal, há uma queda forte na propensão de “automabilidade”: sai de quase 70%, referentes ao menos educados, para cerca de 25%.

Os outros três estudos foram realizados para estimar especificamente a probabilidade de automação no mercado de trabalho brasileiro. Diferentemente de Brambilla *et al.* (2021), Albuquerque *et al.* (2019) e Lima *et al.* (2021) consideraram apenas as ocupações formais, utilizando dados da Rais em vez de pesquisas domiciliares. Para Albuquerque *et al.* (2019), o risco de automação estimado atingiu 55% dos empregos, enquanto para Lima *et al.* (2021) esse valor chegou a 60%. A diferença entre os resultados pode ser explicada pelas opções metodológicas dos autores. Enquanto os primeiros seguiram os passos de Frey e Osborne (2017) e recalcularam as probabilidades para a Classificação Brasileira de Ocupações (CBO), os últimos apenas fizeram uma correspondência das probabilidades previamente estimadas.

Independentemente das diferenças metodológicas, Lima *et al.* (2021) apresentam achados interessantes sobre as desigualdades no risco de automação, confirmando em certa medida as evidências encontradas em Brambilla *et al.* (2021). O índice de automação é maior para trabalhadores com menor nível de educação, com uma probabilidade de 68% para aqueles com ensino superior incompleto, contra 37% dos trabalhadores com formação superior. Os trabalhadores mais jovens também podem ser mais afetados, com um índice de 79% para aqueles na faixa etária de 16 a 24 anos.

Mais recentemente, no quarto estudo, Ottoni *et al.* (2022) ressaltaram a importância de incluir o mercado informal na análise sobre a automação das ocupações. Para alcançar esse objetivo, os autores optaram por utilizar a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Embora os empregados do setor informal representem uma parcela significativa do mercado de trabalho brasileiro, correspondendo a cerca de 40% do total, a inclusão dos dados desses trabalhadores não causou uma grande alteração na estimativa da extensão da automação no país. Segundo os autores, no geral, 58,1% dos empregos brasileiros estão em risco de serem substituídos por máquinas nos próximos dez a vinte anos; no setor informal, 62% dos empregos podem ser automatizados.

Por adotarem, em última instância, os mesmos métodos, todos os artigos descritos até aqui identificam um padrão semelhante. Entre 55% e 65% dos empregos na América Latina, e especificamente no Brasil, estariam com elevado risco de substituição por tecnologias de automação ou robôs nas próximas duas décadas. São patamares mais elevados do que os registrados no mundo considerado desenvolvido. Um levantamento feito em Albuquerque *et al.* (2019) identificou índices de 35% a 55% na Europa e nos Estados Unidos. Na Finlândia, por exemplo, apenas 36% dos empregos estariam ameaçados.

É importante destacar, contudo, as limitações da abordagem proposta por Frey e Osborne (2017), como ressaltam Brambilla *et al.* (2021). Embora a viabilidade técnica de substituir o trabalho humano por robôs em determinada tarefa seja uma condição necessária, não é suficiente para garantir que todos os trabalhadores nessa ocupação sejam efetivamente substituídos. A decisão das empresas em adotar uma tecnologia é baseada em um raciocínio econômico, que leva em consideração preços relativos. Em países em desenvolvimento, por exemplo, há um elevado nível de informalidade no mercado de trabalho, e a mão de obra barata é abundante, enquanto a instalação de capital, incluindo a automação, pode ser bastante custosa ou inviável devido a uma série de fatores, como juros elevados, baixo nível de poupança, falta de capacidade técnica etc. Portanto, não se espera que a automação seja tão disseminada em países mais pobres, em especial nos mercados de trabalho informais, mesmo que a estrutura de ocupações favoreça a substituição do trabalhador pela máquina.

Outra limitação de Frey e Osborne (2017) é que os autores partem do pressuposto de que as ocupações são, na prática, homogêneas em termos de tarefas. Entretanto, é possível que os trabalhadores em uma mesma ocupação realizem tarefas com algum grau de distinção, o que pode reduzir ou aumentar suas exposições à automação. Isso significa que há espaço para novos estudos e metodologias que estimem com mais precisão e detalhamento os riscos de substituição enfrentados por cada trabalhador.

2.2 Produtividade, emprego e salários

A questão do impacto da automação no mercado de trabalho é influenciada por uma série de variáveis. Como apontado por Aghion *et al.* (2020), a automação da produção pode resultar na perda de empregos de determinados trabalhadores, aumentando o risco de desemprego tecnológico. No entanto, esses efeitos de deslocamento podem ser potencialmente compensados por um aumento na produtividade. Portanto, a avaliação sobre as consequências da automação para o mercado de trabalho requer análises empíricas cuidadosas e detalhadas, a fim de se observarem adequadamente todos os fatores envolvidos – produtividade, deslocamento e seus efeitos líquidos. Nesse sentido, os estudos de Graetz e Michaels (2018)

e Acemoglu e Restrepo (2020), embora recentes e concentrados em países desenvolvidos, são amplamente reconhecidos como referências clássicas na avaliação desses impactos empíricos da automação.

Graetz e Michaels (2018) foram pioneiros no uso dos dados da Federação Internacional de Robótica (International Federation of Robotics – IFR) para medir a penetração da tecnologia robótica⁴ em setores industriais de dezessete países entre 1993 e 2007. Os autores descobriram que a densidade de robôs nas indústrias da amostra cresceu cerca de 150% durante o período analisado. Ainda mais relevantes foram os resultados dos modelos de regressão de efeitos fixos que utilizaram a densidade setorial dos robôs como variável independente de interesse – de “efeito causal” se consideradas válidas suas variáveis instrumentais – e avaliaram seu impacto em diversos *outcomes*, como produtividade do trabalho, produtividade total dos fatores (PTF) e salários.

Tanto nas especificações estimadas por mínimos quadrados quanto nas estimações por variáveis instrumentais, Graetz e Michaels (2018) constataram que a adoção de robôs industriais contribuiu para um maior crescimento anual da produtividade do trabalho e da PTF. No caso da produtividade do trabalho, a taxa de crescimento anual aumentou em cerca de 0,36 p.p., o equivalente à contribuição da máquina a vapor, na revolução industrial, estimada por historiadores em 0,35 p.p. Em relação ao nível de emprego (número de horas trabalhadas), os autores não encontraram nenhum efeito, positivo ou negativo. Para os salários, os coeficientes estimados foram positivos e significativos, mas muito menores do que as estimativas de ganhos de produtividade – equivalentes a apenas 10% dos ganhos da produtividade do trabalho.

Embora aponte para efeitos positivos da automação na produtividade e no mercado de trabalho, Graetz e Michaels (2018) trazem à tona questões distributivas que ainda são amplamente discutidas na literatura. Apenas uma pequena parcela do ganho de produtividade seria repassada aos trabalhadores na forma de salários, sendo o restante distribuído como lucro e pagamento aos donos do capital e/ou transferido aos consumidores na forma de preços mais baixos. Além disso, apesar do efeito neutro no emprego agregado, o estudo constatou que os robôs aparentemente reduzem a proporção de horas trabalhadas por profissionais de baixa qualificação em relação a trabalhadores de média e alta qualificação, consistente com a visão da *skill-biased technical change* (SBTC).

Por fim, os modelos de Graetz e Michaels (2018) utilizaram como unidade de análise o par setor-país, com amplo foco na manufatura. Uma extensão de escopo, que incluísse outros setores de atividade ou níveis maiores de agregação

4. Estoque de robôs por milhões de horas trabalhadas.

(como o país como um todo), poderia capturar efeitos de equilíbrio geral, com consequências, em princípio, ambíguas para as estimações.

Por sua vez, Acemoglu e Restrepo (2020), ao olharem para a economia dos Estados Unidos com os mesmos dados sobre robôs industriais, chegaram a conclusões parcialmente distintas. Usando como unidades de análise as *commuting zones* americanas, espaço geográfico equivalente às microrregiões brasileiras, os autores mediram a exposição desses mercados à robotização por meio do método *shift-share*, que combina a variação na utilização de robôs em determinado setor com a participação inicial desse setor no emprego local. Assim, embora os resultados reafirmem os ganhos de produtividade gerados pela automação em termos de valor agregado e produtividade do trabalho, também foram identificadas perdas para os trabalhadores. Cada robô adicional por mil trabalhadores reduz a relação emprego-população local em 0,39 p.p. e os salários em cerca de 0,77%. No entanto, esse efeito é localizado e não considera a dinâmica de interrelação entre os diversos mercados de trabalho.

Os robôs podem causar um efeito de transbordamento e beneficiar ou prejudicar outras zonas por meio de suas relações comerciais. Ao considerar esses efeitos agregados, os pesquisadores encontraram um resultado mitigado, com um robô adicional por mil trabalhadores, reduzindo a relação emprego-população agregada em 0,2 p.p. e os salários agregados em 0,42%.

Os autores reconhecem, porém, que a baixa e ainda recente adesão das firmas à tecnologia de automação nos Estados Unidos limitam a análise e que, portanto, especulações

sobre os efeitos futuros dos robôs devem reconhecer não apenas a incerteza usual associada a tais exercícios, mas também a possibilidade de alguns dos efeitos de equilíbrio geral que atuam através da tecnologia emergirem apenas lentamente (...) e que a resposta do emprego e dos salários possa ser diferente quando os robôs se tornarem suficientemente difundidos (Acemoglu e Restrepo, 2020, p. 2241, tradução nossa).

Em resposta a esses dois estudos iniciais, houve um crescimento na literatura sobre os efeitos da automação no mercado de trabalho, com uma tendência atual de serem utilizados dados no nível de firma, ao mesmo tempo que se busca aplicar técnicas de inferência causal, como diferenças em diferenças ou estudo de eventos. A maioria dos novos estudos revelam um impacto positivo dos robôs na produtividade, no emprego e nos salários médios das firmas adotantes (Acemoglu, Lelarge e Restrepo, 2020; Aghion *et al.*, 2020; Dixon, Hong e Wu, 2020; Koch, Manuylov e Smolka, 2021), o que confirma a ideia de que, pelo menos dentro das firmas, o ganho de produtividade compensa o efeito da substituição do trabalho humano pela máquina.

Quando se extrapola das firmas para os mercados de trabalho, os achados são, por vezes, contraditórios. Com dados de firmas francesas muito semelhantes, Aghion *et al.* (2020) e Acemoglu, Lelarge e Restrepo (2020) chegaram a conclusões diferentes sobre os efeitos da automação nos mercados locais. Os últimos verificam que, devido aos impactos negativos nos concorrentes, os efeitos benignos no nível da empresa não se espalham para o mercado como um todo, sendo negativos. Já os primeiros mostram, de maneira geral, o oposto: revelam que, na França, o investimento em capital moderno aumentou a demanda por trabalho, embora esse resultado seja em maior parte devido ao desempenho da manufatura exportadora, o que leva a crer em um efeito concorrencial alargado, entre setores e países.

Um *gap* dessa literatura encontra-se nos países em desenvolvimento. Por isso, a pesquisa de Brambilla *et al.* (2021) merece destaque, ao abordar a automação sob essa perspectiva. Os autores utilizaram dados da IFR para construir índices de exposição à automação em mercados de trabalho locais (distritos) de três países – Argentina, Brasil e México. Para tanto, calcularam o estoque de robôs industriais por milhares de trabalhadores. Em seguida, relacionaram a exposição aos robôs com indicadores de emprego, salários, pobreza e distribuição de renda obtidos em pesquisas domiciliares, por meio de regressões com dados de painel, para os anos de 2004 a 2016. Considerando que a exposição aos robôs é uma variável endógena, ou seja, a decisão de uma empresa de investir em automação resulta das condições locais do mercado de trabalho, os autores também especificaram uma abordagem de variável instrumental, seguindo a metodologia apresentada por Acemoglu e Restrepo (2020).

Os resultados dessa análise indicam que há uma relação direta entre a exposição aos robôs e o aumento da taxa de desemprego: cada acréscimo de 0,10 robô por milhar de trabalhadores resulta em um aumento de 0,29 a 0,31 p.p. na taxa de desemprego nos distritos estudados. Além disso, a exposição aos robôs também afeta positivamente a taxa de informalidade. Segundo os pesquisadores, o fato de o coeficiente estimado para a informalidade ser quatro vezes maior do que o do desemprego sugere que o setor informal pode estar agindo como um amortecedor para os trabalhadores deslocados. Ou seja, trabalhadores que perderam seus empregos para os robôs podem estar sendo absorvidos pelo setor informal, o que ameniza o impacto geral no desemprego. Os autores também observaram que a exposição aos robôs tem um efeito negativo e estatisticamente significativo na massa salarial, o que contribui para um aumento nos índices de pobreza. Considerando um aumento de 0,10 na proporção de robôs, haveria um aumento de 3 a 3,6 p.p. na pobreza nos distritos estudados.

Uma análise comparativa realizada por Fu *et al.* (2021) examinou os efeitos da automação no mercado de trabalho em um grupo de 76 países, entre economias desenvolvidas e em desenvolvimento. Os pesquisadores observaram que a

utilização de robôs industriais estava associada a melhorias na produtividade do trabalho e no emprego total apenas em economias desenvolvidas; esses efeitos foram insignificantes em países em desenvolvimento. Essa heterogeneidade pode ser atribuída às diferenças nos perfis educacionais dos trabalhadores e nas estruturas ocupacionais entre os países, sugerindo que a automação teria pouca capacidade de alterar os padrões de funcionamento do mercado de trabalho em regiões em desenvolvimento. No entanto, é importante destacar que o resultado pode ser apenas consequência da baixa disseminação da robótica nessas regiões, e novos estudos são necessários à medida que o uso de robôs na produção aumenta. Também vale ressaltar que os autores não abordaram de maneira robusta as questões de endogeneidade da exposição à tecnologia robótica, fator capaz de influenciar os resultados.

Já Rodrigo (2022) implementou uma estratégia de identificação causal mais cuidadosa em seu estudo, combinando um estudo de eventos com estratégias de variável instrumental, semelhantes a Acemoglu e Restrepo (2020), para estimar o efeito de longo prazo da automação na produtividade do trabalho, salários e níveis de emprego nos mercados brasileiros, definidos como correspondentes às 557 microrregiões geográficas. Os resultados encontrados diferem daqueles vistos em Brambilla *et al.* (2021). De acordo com o autor, as estimativas indicam que, em um mercado de trabalho local que aumente o valor investido em robôs importados em US\$ 3 por trabalhador (valores de 1997), haveria um ganho cumulativo de 2,66% na produtividade ao longo de dez anos, os salários médios aumentariam em 1,18%, enquanto não haveria consequências para o emprego agregado.

Como o pesquisador destaca, esses achados não são necessariamente contraditórios em relação àqueles que encontraram efeitos negativos no mercado de trabalho. Estudos anteriores, como o próprio de Brambilla *et al.* (2021) e o de Acemoglu e Restrepo (2020), mediram, em tese, efeitos de curto prazo, enquanto a sua pesquisa usou uma metodologia de *lags* distribuídos capaz de dimensionar impactos ao longo de uma janela de dez anos. Existem também outras diferenças metodológicas em jogo. Enquanto Brambilla *et al.* (2021) e Acemoglu e Restrepo (2020) se basearam em dados da IFR e informações de pesquisa domiciliar, Rodrigo (2022) construiu seu indicador de penetração da tecnologia de automação usando registros aduaneiros de importação de robôs e obteve informações sobre o mercado de trabalho da Rais, que são registros de empregos formais.

Para concluir esta seção, ressalta-se que a tendência atual é caracterizada por uma aceleração da tecnologia de automação que se estende além das já conhecidas máquinas automáticas utilizadas principalmente na manufatura e no setor automobilístico. É esperado que novos setores comecem a adotar tipologias específicas de robôs para otimizar seus processos. Com o desenvolvimento de aplicações de

inteligência artificial, por exemplo, a fronteira de expansão parece estar nos serviços que, até então, têm servido como um colchão para amortecer o efeito de substituição do trabalho humano (Dauth *et al.*, 2021; Mann e Püttmann, 2021). Quais serão as repercussões dessa nova onda? Essa literatura poderá oferecer muitas contribuições futuras, em especial no desenvolvimento de novas metodologias e bases de dados, a fim de verificar o efeito líquido da tecnologia na produtividade e, fundamentalmente, no emprego e nos salários dos trabalhadores.

2.3 Desigualdade

Se os ganhos de produtividade da automação são ou não suficientes para compensar o deslocamento dos trabalhadores é um tópico em aberto na literatura. Como mencionado anteriormente neste capítulo, é necessário esperar a dinâmica de longo prazo desse processo para tirar conclusões mais robustas dos dados. Estudos recentes, no entanto, são mais conclusivos ao mostrar um padrão comum: a automação redistribui a renda econômica, aumentando as desigualdades já existentes.

Essa redistribuição ocorre basicamente por meio de dois mecanismos. Em primeiro lugar, há uma redução na participação do trabalho na renda agregada, em favor do rendimento do capital e dos lucros das empresas automatizadas. Em segundo, a tecnologia é mais favorável para aqueles com maior nível educacional e capacidade técnico-cognitiva, ou para os que realizam tarefas menos propensas à automação.

Como referido anteriormente, Graetz e Michaels (2018) mostram que apenas uma pequena parte do aumento da produtividade da automação é repassada aos trabalhadores. A maior parcela é apropriada pelos donos do capital ou transferida aos consumidores na forma de preços mais baixos. Como resultado, há uma redução na proporção da renda agregada apropriada pelos trabalhadores e um aumento nas diferenças de renda entre os proprietários do capital/empresas e seus funcionários. Esse fenômeno é observado em trabalhos empíricos que encontraram um impacto negativo dos robôs naquilo que a literatura denomina de participação do trabalho (*labor share*).

A queda na participação do trabalho é evidenciada em Acemoglu e Restrepo (2020), que apresentam estimativas para os Estados Unidos. De acordo com esses autores, a adoção de um robô adicional por mil trabalhadores em um setor de atividade específico está associada a uma redução de 0,8 p.p. na participação do trabalho entre 1992 e 2007. Já no estudo de Acemoglu, Lelarge e Restrepo (2020) é observado que, em linha com as projeções teóricas, a adoção de robôs resultou, no nível da firma, em maior produtividade e emprego, além de melhores salários. Entretanto, também houve uma queda de 4,6 p.p. na participação dos trabalhadores na renda. Essa redução se agrava quando os dados são considerados

em nível agregado, pois as empresas automatizadas já eram maiores antes da adoção dos robôs e se expandiram ainda mais, enquanto reduziam a participação dos trabalhadores nos rendimentos.

Por fim, no caso brasileiro, Rodrigo (2022), que, como mencionado anteriormente, encontrou efeitos positivos da automação para o emprego e salários dos trabalhadores das microrregiões do país, apresenta um quadro mais negativo em termos de participação do trabalho. Embora a produtividade do trabalho e os salários mostrem uma dinâmica semelhante e positiva no longo prazo, o crescimento é consideravelmente maior para a produtividade, o que resulta em uma queda estimada de 5% na parcela da renda absorvida pelo trabalho.

Existem duas hipóteses que buscam explicar a relação entre avanços tecnológicos e desigualdades de rendimentos do trabalho. Uma longa literatura tem documentado que as tecnologias digitais favorecem os trabalhadores qualificados. Por exemplo, Katz e Murphy (1992) apresentaram evidências de que a tecnologia aumenta a demanda por trabalhadores qualificados em relação aos não qualificados, ou seja, de acordo com a hipótese de SBTC. Recentemente, porém, trabalhos como Autor, Levy e Murnane (2003), Acemoglu e Autor (2011) e Acemoglu e Restrepo (2018) apresentaram uma visão de que as tecnologias digitais realizam tarefas rotineiras, levando a uma mudança técnica com viés relativo a tarefas rotineiras (*routine-biased technical change* – RBTC).

Uma diferença importante da RBTC em relação à SBTC é que a exposição à substituição tecnológica não está monotonicamente relacionada aos níveis de formação educacional ou à habilidade. Supostamente, essas tarefas rotineiras podem ser realizadas em maior intensidade por trabalhadores de formação média, que estariam mais suscetíveis a serem afetados pela adoção da automação. Com a compressão dos salários e do emprego dessas camadas médias ocorreria o que conceitualmente é definido como uma polarização do mercado de trabalho.

Embora seja difícil determinar com exatidão qual das duas teorias explica melhor os efeitos da automação na desigualdade do mercado de trabalho – até porque a rotinização das tarefas e o nível educacional dos trabalhadores costumam estar forte e negativamente correlacionados –, o que se observa na literatura sobre os países desenvolvidos é que, em princípio, a tese da polarização não se verifica para o caso da tecnologia robótica.

Por exemplo, no estudo realizado por Graetz e Michaels (2018), os coeficientes da penetração da automação industrial foram positivos para trabalhadores de alta e média qualificação, enquanto as estimativas para trabalhadores de baixa qualificação são significativamente negativas. Essas descobertas sugerem que há vencedores e perdedores na adoção de robôs industriais (Graetz e Michaels, 2018, p. 766).

Acemoglu e Restrepo (2020) investigaram o impacto da exposição a robôs na distribuição salarial usando regressões quantílicas e descobriram que os efeitos negativos para os salários se concentram em trabalhadores abaixo do 35º percentil da distribuição salarial. Quando dividiram a amostra por formação educacional, constataram que os efeitos negativos chegavam até o 85º percentil para trabalhadores sem diploma universitário, enquanto para aqueles com diploma universitário os efeitos eram menores e se encontravam abaixo do 15º percentil. Em outras palavras, os robôs afetaram quase exclusivamente os trabalhadores que estavam originalmente entre a cauda e o meio da distribuição salarial.

Nos países em desenvolvimento, a evidência disponível até agora é menos conclusiva. Embora seja inquestionável que a automação esteja ligada a um aumento geral da desigualdade no rendimento e no emprego, alguns estudos apoiam a ideia de que os trabalhadores mais afetados pela tecnologia robótica são aqueles que estão no meio da distribuição de renda ou habilidades. Por exemplo, em uma amostra de países latino-americanos, Brambilla *et al.* (2021) estimaram modelos de regressão separados para cada grupo de habilidades – baixo (sem diploma do ensino médio), médio (diploma do ensino médio) e alto (educação adicional após o ensino médio) – e descobriram que as taxas de desemprego aumentaram apenas para trabalhadores de nível médio. Já a taxa de informalidade aumentou mais entre aqueles com baixo nível educacional. Talvez a dimensão do setor informal em países em desenvolvimento seja a chave para explicar por que ocorre o efeito de polarização. Enquanto aqueles com baixa qualificação veem no mercado informal uma alternativa ao desemprego tecnológico, esse caminho parece não estar disponível para os trabalhadores anteriormente ocupados em faixas salariais intermediárias.

Diferentemente de Brambilla *et al.* (2021), que usaram informações de pesquisas domiciliares, Stemmler (2022) coletou dados na Rais, que identifica apenas o mercado formal, e não encontrou evidências de polarização no Brasil. Pelo contrário, suas estimativas mostram maiores ganhos de emprego para profissionais de habilidades médias quando há intensificação do nível de automação em um país. Entre os trabalhadores de baixa qualificação, os resultados não são estatisticamente significativos.

2.4 Robôs e mercado de trabalho: dados utilizados na literatura

Ao longo da revisão da literatura feita neste capítulo, percebe-se que existe uma diversidade de dados utilizados na pesquisa empírica sobre os impactos da automação no mercado de trabalho. A seguir, apresentam-se resumidamente algumas das bases de dados mais utilizadas por pesquisadores.

2.4.1 Relatórios da World Robotics

A série histórica do anuário da IFR é a principal fonte de dados utilizada em pesquisas empíricas sobre robôs. Diversos estudos, como Graetz e Michaels (2018), Acemoglu e Restrepo (2020) e Brambilla *et al.* (2021), basearam-se nesses dados para suas análises. A IFR fornece informações detalhadas sobre o número de robôs entregues em cada indústria, país e ano. Para serem considerados robôs, os dispositivos devem atender à definição da norma ISO 8373, que os descreve como manipuladores de múltiplas finalidades, controlados automaticamente, reprogramáveis e programáveis em três ou mais eixos, podendo ser fixos ou móveis para uso em aplicações de automação industrial. Os pesquisadores geralmente utilizam esses dados para construir o estoque de robôs por país, indústria e ano, utilizando métodos de inventário perpétuo.

Em Graetz e Michaels (2018), a variável independente principal na análise empírica era baseada em uma medida de densidade de robôs, que representava o número de robôs por milhão de horas trabalhadas em cada país e setor industrial. Já em Acemoglu e Restrepo (2020) e Brambilla *et al.* (2021), assim como em outros estudos, as análises foram conduzidas em nível de distrito ou zona de deslocamento (equivalente às microrregiões geográficas brasileiras). Essas análises se basearam em uma variável do tipo *shift-share*, que mede a exposição do mercado de trabalho local aos robôs. Essa medida é obtida multiplicando o número de robôs por trabalhador em um determinado setor de atividade pela participação desse setor no total do emprego na região analisada.

2.4.2 *Surveys* com empresas (*business surveys*)

Diversos órgãos de estatísticas oficiais têm incorporado em suas pesquisas anuais sobre a economia perguntas relacionadas à utilização de tecnologias da informação e robótica, seja por meio de questionários padrão ou módulos especiais. Um exemplo relevante é a pesquisa Encuesta sobre Estrategias Empresariales (ESEE), conduzida pelo escritório de estatísticas espanhol, que coleta informações sobre o uso de tecnologias robóticas desde 1990. Os dados da ESEE disponibilizam informações detalhadas, em nível de empresa, sobre o uso de robôs na produção. A extensa série histórica tem sido amplamente explorada, como evidenciado no estudo de Koch *et al.* (2021), permitindo estimar o impacto da automação por meio de técnicas de regressão em painel com efeitos fixos e estudos de evento.

O Escritório Estatístico da União Europeia (Eurostat) também produz dados semelhantes por meio de pesquisas sobre o uso de tecnologia da informação em empresas (*ICT usage in enterprises*). No entanto, essa fonte tem sido pouco explorada na literatura econômica. Da mesma forma, o Census Bureau dos Estados Unidos incluiu, em 2019, um módulo especial com perguntas sobre tecnologia da informação e robótica em sua *Annual Business Survey* (ABS).

Acemoglu *et al.* (2022) utilizaram esses dados para examinar a adoção dessas tecnologias nas empresas dos Estados Unidos, especialmente em relação aos impactos nos processos de produção e na demanda por trabalhadores com diferentes habilidades.

No Brasil, o IBGE realizou uma pesquisa semelhante sobre o uso de tecnologia da informação em empresas em 2010 (TIC Empresas/IBGE), mas não incluiu perguntas específicas sobre automação e/ou robótica. Essa lacuna foi preenchida pelas edições bianuais da pesquisa TIC Empresas conduzidas pelo Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (Cetic.br), vinculado ao Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br). Conforme mencionado neste capítulo, a pesquisa abordou o tema da automação pela primeira vez na edição 2018-2019, incluindo questões sobre o uso de robôs industriais e de serviços. Na edição 2020-2021, as empresas foram novamente questionadas sobre o uso de robôs, mas, devido aos impactos da covid-19 na atividade econômica, optou-se por não utilizar esses dados neste estudo.

2.4.3 Outras fontes de dados

Fontes de dados alternativas têm sido construídas para suprir as lacunas existentes nas estatísticas disponíveis. Rodrigo (2021), por exemplo, utilizou o registro das autoridades aduaneiras brasileiras. Como o Brasil não produz robôs industriais internamente, cada novo robô adotado no país é importado e registrado. O autor compilou esses dados na Secretaria de Comércio Exterior e construiu uma variável, em nível municipal, com a razão entre o valor dos robôs importados em preços constantes e o emprego local do mercado de trabalho. Já em Mann e Püttmann (2021), a fonte de dados utilizada foi construída a partir de patentes de automação registradas nos Estados Unidos. Eles associaram essas patentes às indústrias onde provavelmente seriam utilizadas, de forma probabilística, e obtiveram um índice de disponibilidade de tecnologia de automação em nível setorial (Standard Industrial Classification – SIC – de três dígitos).

3 AUTOMAÇÃO E MERCADO DE TRABALHO: AVALIAÇÃO COM DADOS DA TIC EMPRESAS E DA RAIS

Nesta seção investiga-se o impacto da automação nos níveis de emprego e nos salários de trabalhadores em uma amostra de empresas brasileiras. Para isso, utilizam-se dados da TIC Empresas 2018-2019 e da Rais identificada 2018. A TIC Empresas, publicada em 2019, contou com 7.019 firmas estratificadas por região, porte e setor de atividades. Pela primeira vez, a pesquisa incluiu perguntas sobre o uso de robôs industriais e de serviços, que são as principais variáveis de interesse deste estudo. Utilizou-se a raiz do Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica (CNPJ) dessas firmas para encontrar, na Rais, informações individuais sobre

seus trabalhadores, como remuneração, idade, grau de instrução, raça, gênero e tempo de emprego.

A pesquisa TIC Empresas fez diversas perguntas às empresas da amostra sobre o uso de tecnologias da informação. Especificamente em relação à automação, as questões sobre adoção de robôs industriais e de serviços são de interesse deste estudo. Entre outras, as perguntas foram as reproduzidas a seguir.

- Nos últimos doze meses, a sua empresa utilizou robôs industriais, como os usados para soldagem robótica, corte a *laser*, pintura por pulverização etc.?
- Nos últimos doze meses, a sua empresa utilizou robôs de serviço, como os usados para vigilância, limpeza, transporte etc.?

De acordo com o manual da pesquisa TIC Empresas, a definição de robôs industriais segue os parâmetros definidos pelo Eurostat, na Community Survey on ICT Usage and E-commerce in Enterprises. De acordo com o Núcleo de Informação e Coordenação do Ponto BR (NIC.BR), associação criada para a execução do registro de nomes de domínio, alocação de endereços IP e administração do domínio nacional .br, são entendidos como “equipamentos programáveis para realizar diversas tarefas e não somente a repetição de uma única ação, tal como máquinas de comando numérico – CNC” (NIC.Br, 2020, p. 106).

Já para os robôs de serviço, a definição oferecida pelo manual do Eurostat e seguida pela TIC Empresas, é “uma máquina que possui um grau de autonomia e é capaz de operar em ambiente complexo e dinâmico, que pode exigir interação com pessoas, objetos ou outros dispositivos, excluindo seu uso em aplicações de automação industrial” (Eurostat, 2023, p. 40, tradução nossa). Esse conceito exclui *softwares e chatbots*.

A partir das respostas às questões citadas, foram geradas, na base de dados, variáveis *dummy* que dividiram a amostra em grupos de tratamento (empresas utilizadoras de robôs de serviço ou industriais) e de controle (empresas que não utilizam qualquer tipo de robô).

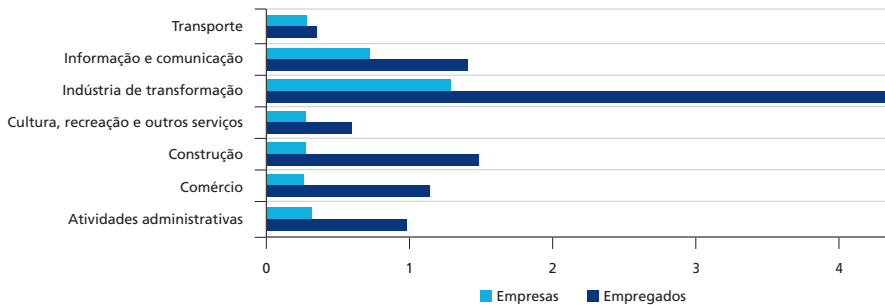
Faz-se importante, porém, clarificar as limitações desses achados. Os dados utilizados nesta pesquisa são uma única observação no tempo (transversais), sendo difícil atestar causalidade na relação entre robôs, emprego e salários. Mesmo com o uso de regressões para controlar por características das empresas, os resultados devem ser vistos como estilizados e descritivos, apesar de representarem evidências iniciais sobre o impacto da automação.

3.1 Firmas, setores e automação

De acordo com a TIC Empresas, a penetração da tecnologia de automação no Brasil é baixa. Nos gráficos 1 e 2 são apresentadas, respectivamente, as distribuições das empresas com automação industrial e de serviços, por grandes grupos de atividades econômicas da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE). Com a Rais, seria possível desagregar a utilização de robôs por atividades do IBGE ou classes da CNAE, mas isso não foi feito a fim de respeitar a estratificação original da pesquisa e sua representatividade estatística.

GRÁFICO 1

Empresas que utilizam robôs industriais, por setor de atividade (2018)
(Em %)

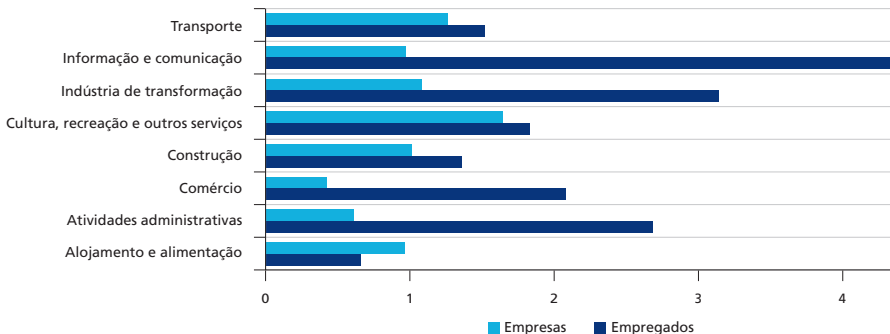


Fonte: TIC Empresas e Rais.

Percebe-se que, no ano do estudo (2018), as firmas com automação industrial concentram-se principalmente na indústria de transformação brasileira, representando 4,4% das empresas e quase 15% da mão de obra do setor. No entanto, em outras atividades, esse tipo de automação atinge sempre menos de 3% das empresas e não ultrapassa a casa dos 5% dos trabalhadores.

GRÁFICO 2

Empresas que utilizam robôs de serviços, por setor de atividade (2018)
(Em %)



Fonte: TIC Empresas e Rais.

A adoção da automação de serviços era ainda mais incipiente naquele ano. Setores como indústria de transformação e comércio possuíam menos de 2% das empresas com atividades de serviços automatizadas. Mesmo o segmento de informação e comunicação apresentava pouca intensidade no uso desses robôs, com menos de 5% dos trabalhadores empregados em firmas que adotavam a tecnologia.

Observa-se, portanto, que, em razão da baixa adoção, os possíveis efeitos da automação no mercado de trabalho brasileiro provavelmente são limitados, com exceção da indústria de transformação, que tem um histórico mais antigo de uso de robôs na indústria automotiva.

3.2 Automação, salário e emprego: dados descritivos

Na tabela 1, são apresentados os valores médios de algumas das variáveis coletadas da Rais, segmentados por grupos de empresas que utilizavam ou não robôs de serviços e industriais.

TABELA 1
Robôs e mercado de trabalho (2018)

Usa robô	Remuneração (R\$)	Horas extras	Idade	Meses de emprego	Empregados
Não	2.330,72	59,53	35,61	45,87	153,50
Industrial	2.844,34	63,36	34,70	54,73	452,24
Serviços	2.695,96	66,01	36,05	51,26	285,09
Robô industrial, indústria de transformação					
Não	2.453,20	69,08	35,40	57,71	179,08
Sim	3.160,50	60,10	34,97	67,19	390,90
Robô de serviços, comércio e indústria de transformação					
Não	2.256,80	54,37	33,63	47,86	184,17
Sim	2.344,10	55,59	33,74	49,40	205,51

Fonte: TIC Empresas e Rais.

É importante destacar que a correlação entre a automação e essas variáveis não necessariamente implica causalidade. O fato de empresas com algum grau de automação apresentarem maiores salários ou um número médio maior de empregados não significa que os robôs são a causa dessa diferença. É plausível imaginar que empresas *a priori* mais rentáveis e maiores seriam aquelas mais propensas a adotar tecnologias inovadoras. Os dados da tabela 1 são importantes justamente porque podem indicar, em princípio, um perfil geral das empresas que adotam a tecnologia da automação.

As firmas que utilizam robôs industriais pagam mais horas extras, assim como têm trabalhadores com maior tempo de serviço. Nota-se também que essas empresas apresentam diferenças significativas em termos de remuneração média e número de empregados: possuem três vezes mais empregados e pagam salários cerca de 22% maiores.

Ou seja, percebe-se na tabela 1 que as empresas que adotam a tecnologia de automação industrial têm um perfil característico: são maiores e possivelmente mais produtivas, demandando um volume maior de insumos, incluindo mão de obra. Essas características também se verificam, mesmo que em menor grau, no grupo de firmas que adotam robôs de serviços.

Uma questão que se levanta ao se analisarem os dados sobre os robôs e sua distribuição setorial é até que ponto as diferenças nos indicadores de emprego e remuneração não são decorrentes das diferenças de características entre as atividades econômicas com maior ou menor automação. Afinal, os robôs industriais encontram-se predominantemente na indústria de transformação, enquanto os robôs de serviços estão mais bem distribuídos, mas ainda assim apresentam certa concentração no comércio e na indústria. Para avaliar o impacto setorial, a tabela 1 também traz os valores médios entre adotantes e não adotantes dentro de algumas dessas atividades específicas – indústria da transformação, no caso do robô industrial; e indústria da transformação e comércio, no de serviços.

Observa-se, por exemplo, que, para os robôs industriais, ao se controlar o fator setorial utilizando apenas empresas da indústria de transformação, o *gap* salarial é maior, cerca de 29%, enquanto a distância em relação ao número de empregados sofre alguma redução. Nos robôs de serviços, considerando apenas os setores com maior automação, comércio e indústria, o diferencial é mais reduzido, tanto no salário quanto no número de empregados.

Apesar disso, os dados continuam a indicar a existência de um perfil específico de empresas que adotam tecnologias de automação, como foi verificado por Koch *et al.* (2021). Os autores produziram evidências de uma seleção positiva dessas empresas, ou seja, aquelas que apresentam melhor desempenho *ex ante* – medido por meio da produção e da produtividade do trabalho – têm mais chances de adotar robôs.

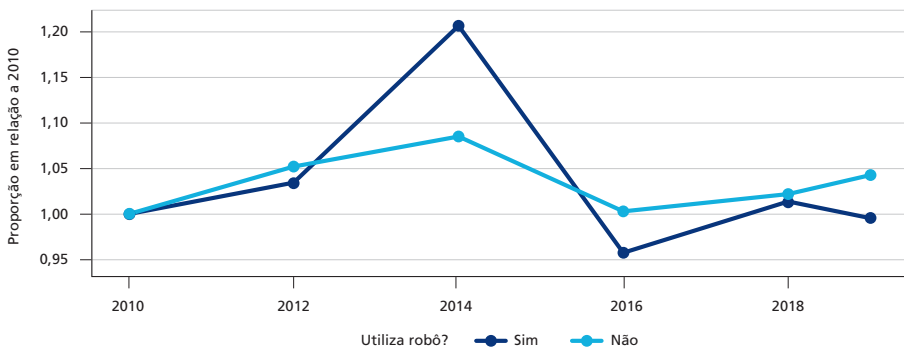
Foi observada ainda a trajetória relativa dos dois grupos de empresas ao longo do tempo, coletando dados da Rais entre 2010 e 2019 e comparando os níveis relativos de emprego e salários médios das empresas com e sem robôs. O objetivo desse exercício foi comparar as empresas com elas mesmas ao longo do tempo para verificar se há alguma indicação de que aumentaram ou reduziram o número médio de empregados e salários.

Os resultados dessa abordagem estão ilustrados nos gráficos de 3 a 6, cada uma composta por dois painéis. O gráfico 3A exibe a evolução dos valores médios do número de empregados em proporção relativa ao registrado no primeiro ano da série (2010), enquanto o gráfico 3B apresenta a mesma trajetória para os salários médios pagos, ambos no período compreendido entre 2010 e 2019. As linhas representam os grupos de empresas que afirmaram ou não adotar a tecnologia de automação, de acordo com a pesquisa TIC Empresas 2018-2019.

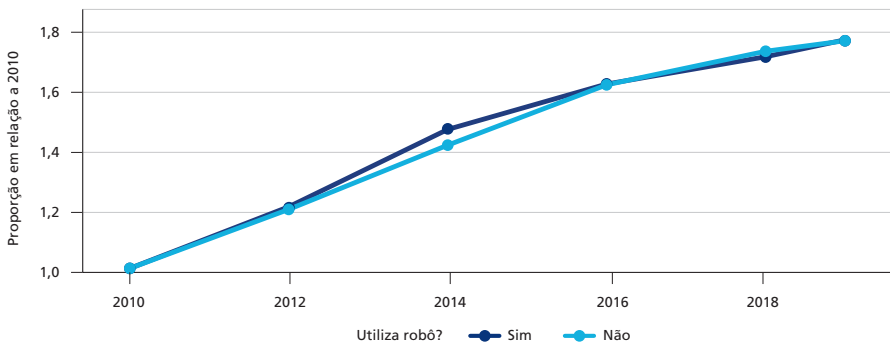
GRÁFICO 3

Robôs industriais: evolução do emprego e dos salários em relação a 2010 (2010-2018)

3A – Número médio de empregados



3B – Salário médio



Fonte: TIC Empresas e Rais.

Nos dados apresentados no gráfico 3 é possível observar que as empresas que utilizam robôs industriais registraram, pelo menos em 2018, desempenho inferior em comparação com as demais no que diz respeito ao número de empregados. Apesar de serem maiores e pagarem melhores salários, essas empresas operam com um número médio de empregados abaixo do registrado no início da série, em 2010.

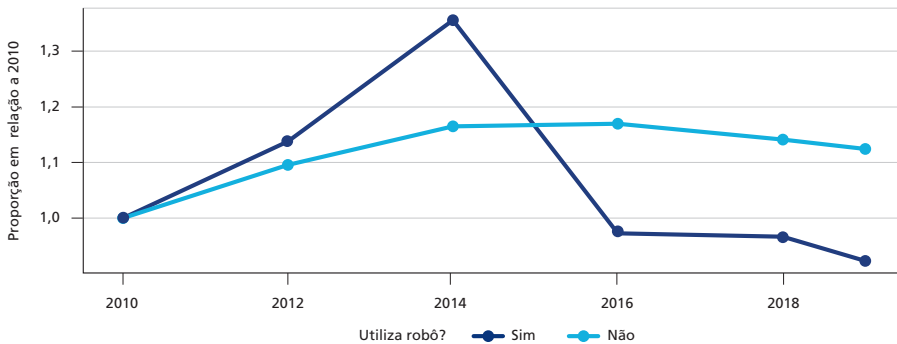
Os grupos de empresas não automatizadas e automatizadas têm desempenho semelhante quanto aos salários, e ambas acumularam ganhos salariais ligeiramente acima da inflação do período.

Considerando que essas empresas com automação são, de acordo com modelos teóricos e alguns achados empíricos, mais produtivas e, portanto, deveriam apresentar maior crescimento, o desempenho abaixo da média das demais no indicador de emprego pode revelar um possível fenômeno de substituição do trabalho pelos robôs. No entanto, é importante levar em conta que esse tipo de automação industrial está predominantemente na indústria de transformação, o que pode resultar em um efeito de diferencial setorial no desempenho. Isso porque esse segmento da economia é um dos que mais sofreram com a crise enfrentada pelo país no biênio 2015-2016.

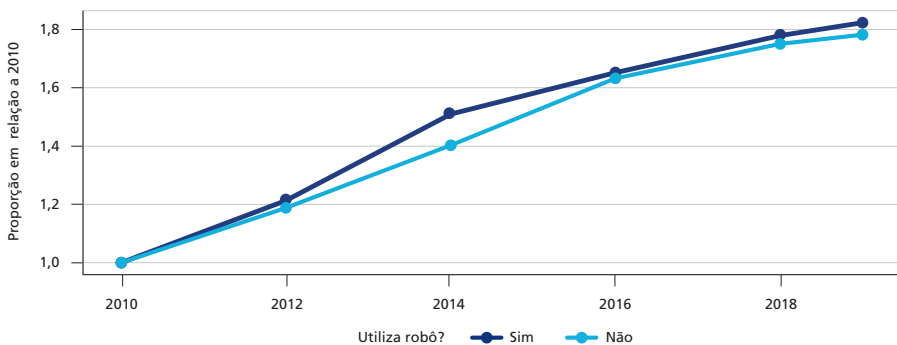
GRÁFICO 4

Robôs industriais: evolução do emprego e dos salários na indústria de transformação em relação a 2010 (2010-2018)

4A – Número médio de empregados



4B – Salário médio



Fonte: TIC Empresas e Rais.

A fim de se verificar essa hipótese, os gráficos 4A e 4B realizam o mesmo tipo de comparação, mas apenas entre as empresas da amostra que pertencem à indústria de transformação.

Ao olhar apenas para a indústria de transformação, as empresas que utilizam tecnologias de automação continuam com desempenho inferior às demais no emprego. Nos salários, comparativamente, há um maior ganho, mas esse resultado pode ser consequência de um efeito de composição. A redução do emprego, se provocada pela automação, afetaria principalmente trabalhadores com salários e níveis educacionais mais baixos.

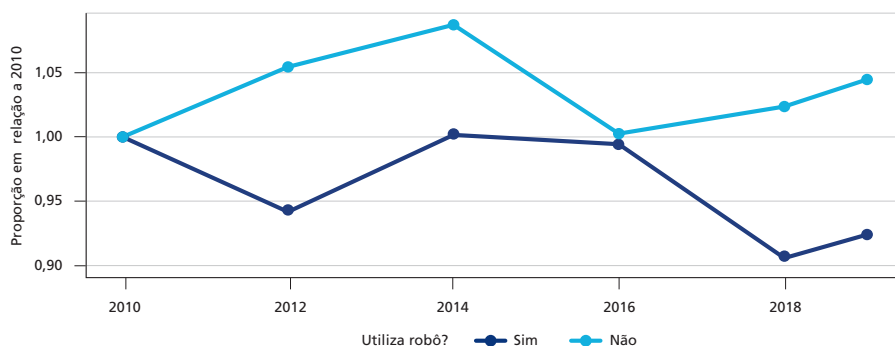
A hipótese de que essa evolução seja resultado de um efeito poupador de mão de obra gerado pela automação seria crível, sim, mas ainda altamente especulativa. É necessário analisá-la em estudos futuros, pois nesse caso há limitações intrínsecas aos dados. Por exemplo, não é possível, sem violar os estratos da pesquisa, desagregar ainda mais a análise para verificar se algum subsetor específico, como a indústria automobilística, por exemplo, está influenciando os resultados.

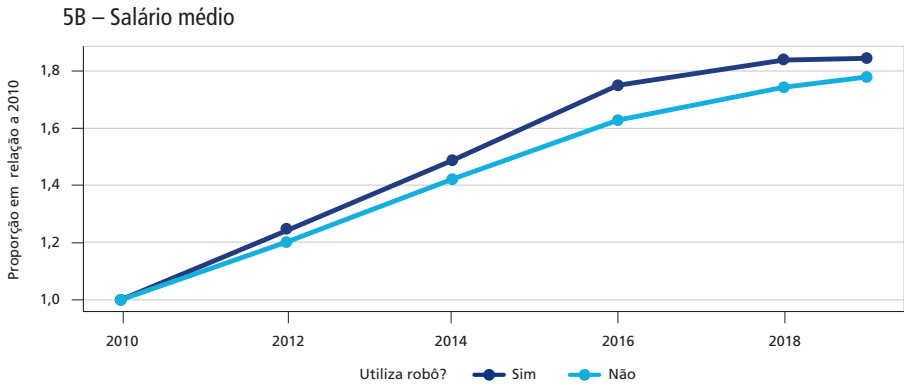
Entre as empresas que afirmam utilizar robôs de serviços, a evolução dos indicadores de mercado de trabalho foi semelhante (gráfico 5). Mas quando se considera apenas os setores com maior número de empresas adotantes, conforme ilustrado no gráfico 6, o padrão se altera: o emprego teve melhor resultado nas empresas com robôs, porém o salário médio foi ligeiramente pior.

GRÁFICO 5

Robôs de serviços: evolução do emprego e dos salários em relação a 2010 (2010-2018)

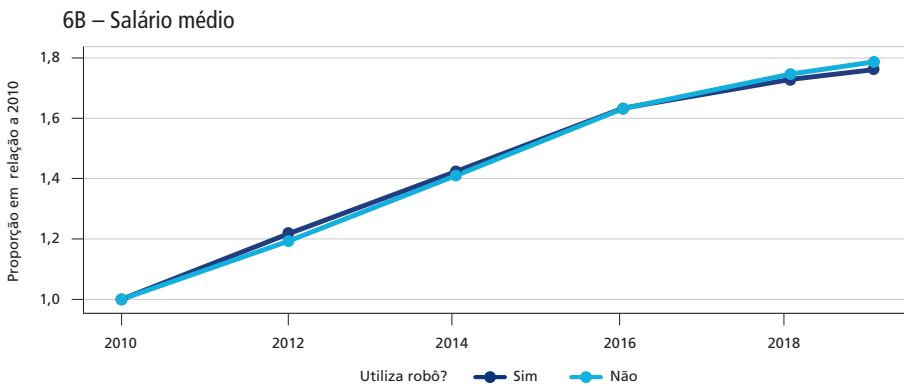
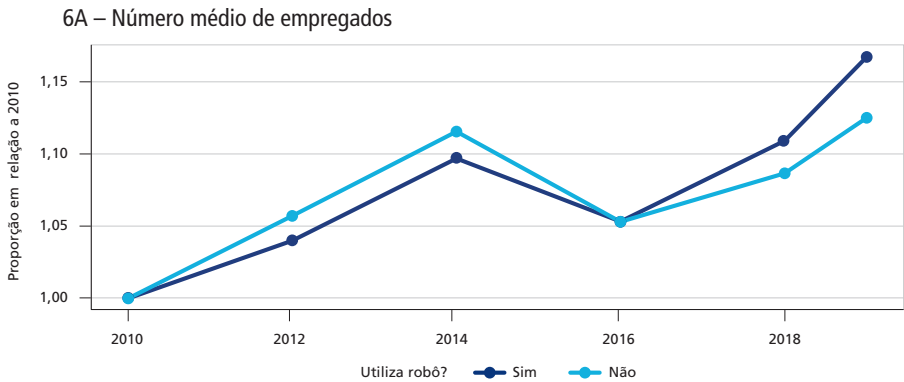
5A – Número médio de empregados





Fonte: TIC Empresas e Rais.

GRÁFICO 6
Robôs de serviços: evolução do emprego e dos salários no comércio e indústria de transformação em relação a 2010 (2010-2018)



Fonte: TIC Empresas e Rais.

3.3 Automação, salário e emprego: modelos de regressão

Como mencionado anteriormente, a pesquisa TIC Empresas é baseada em amostra e não constrói painéis rotativos. Além disso, a edição 2018-2019 foi a primeira a questionar as empresas sobre o uso de robôs. Portanto, com apenas um ponto de observação no tempo, ou seja, observações transversais, é difícil estabelecer estratégias robustas de identificação de causalidade. Não é possível utilizar especificações com efeitos fixos (individuais/empresariais) para controlar fatores constantes no tempo que não são observáveis pelo pesquisador mas estão relacionados com variáveis de interesse (salário, emprego etc.) e com a opção por adotar a automação. Como as empresas não foram acompanhadas ao longo do tempo, também não há meios de saber quando as empresas adotaram robôs e, assim, não é possível implementar estratégias de regressão “antes e depois” ou mesmo de diferenças em diferenças.

Nesses casos, algumas pesquisas optam por tentar evitar o viés de seleção no tratamento por meio do controle de características observáveis (*matching* ou ponderação por probabilidade inversa). Não se considera aqui que tais alternativas sejam completamente viáveis por dois motivos. Primeiro, entende-se que a premissa de que, quando controlada por fatores observáveis, a adoção de robôs seria aleatória é muito forte e pouco verossímil para o presente caso. Além disso, as variáveis disponíveis para caracterizar as empresas foram registradas após ou durante o tratamento, isto é, o período em que o robô foi utilizado, não sendo, portanto, livres de sua influência, o que prejudica qualquer tentativa de balanceamento robusto da amostra.

Contudo, mesmo reconhecendo as limitações na identificação de parâmetros causais, buscou-se aprofundar a análise, numa tentativa de minimizar o viés de seleção. Para isso, foram estimados modelos de regressão com variáveis de controle que não foram determinadas pelo tratamento ou foram determinadas antes dele. O impacto dos robôs nas variáveis de interesse (logaritmos do número de empregados e da remuneração média dos trabalhadores no nível da firma em 2018), por meio de quatro variáveis independentes: *dummies* para o setor de atividade e a região da empresa, extraídos da TIC Empresas; o logaritmo do número de empregados na firma; e o logaritmo do salário médio, ambos coletados na Rais de 2000. Ao usar dados mais antigos da Rais, pressupõe-se que a maioria das empresas ainda não havia adotado tecnologias de automação à época. Esse pressuposto tem fundamento nos registros de instalação de robôs feitos pela IFR, que mostram um baixo índice de automação entre as firmas brasileiras no início dos anos 2000 (Brambilla *et al.*, 2021). Os parâmetros dos modelos foram estimados por mínimos quadrados ordinários (MQO), e a estimação por ajustes de regressão foi testada, com resultados equivalentes.

A tabela 2 traz os coeficientes dos robôs em quatro modelos distintos. Neles os efeitos do tratamento (automação) sobre o emprego (logaritmo do número de empregados) e os salários (logaritmo da remuneração média) foram estimados separadamente para robôs do tipo industrial e de serviços. Os modelos assinalados com (1) utilizaram apenas os controles originais, descritos no parágrafo anterior. Nos modelos com (2) foram testadas especificações com variáveis para o uso de outras tecnologias de ponta, como serviços de nuvem, *big data* e impressão 3D (informações coletadas pela TIC Empresas). Essas variáveis servem de indicadores de intensidade tecnológica da firma e entram no modelo para controlar o risco de viés causado por variáveis omitidas, separando os efeitos provocados especificamente pela adoção dos robôs daqueles que são resultado da natureza tecnológica da empresa, em um sentido mais amplo.

TABELA 2
Efeito condicional dos robôs sobre o emprego e os salários
 (Em pontos logarítmicos)

Número de empregados ¹	Número de empregados ²	Remuneração média ¹	Remuneração média ²
Robô industrial			
0,583*** (0,095)	0,473*** (0,098)	0,061* (0,030)	0,050 (0,031)
Robô de serviços			
0,593** (0,212)	0,549** (0,199)	0,083' (0,042)	0,080' (0,042)

Fonte: TIC Empresas e Rais.

Notas: ¹ Controles: setor, região, empregados e salários em 2000.

² Adiciona: uso de nuvem, *big data* e impressão 3D.

Obs.: Níveis de significância: ' = $p < 0,10$; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; e *** = $p < 0,001$.

Todos os coeficientes, que podem ser considerados como semielasticidades devido à expressão em logaritmo da variável dependente, apresentam valores positivos e significância estatística mínima de 10%, exceto para o impacto dos robôs industriais sobre as remunerações quando são incluídos os controles para o uso de outras tecnologias.

É possível observar que, mesmo quando a média condicional exclui a influência de fatores como região, setor de atividade e, principalmente, número de empregados e salários em um período anterior, ainda existe uma diferença positiva entre empresas que utilizam ou não robôs industriais. As firmas com robôs industriais possuem em média 79% mais trabalhadores, e rendimentos cerca de 6% superiores.

Nas médias simples, apresentadas anteriormente, as diferenças percentuais no número de empregados e nas remunerações eram, respectivamente, 200% e 20%. A maior parte desse *gap* inicial é atribuído, portanto, ao fato de que as empresas com tecnologia de automação eram, *a priori*, maiores e ofereciam salários mais elevados. Qualitativamente, o cenário é o mesmo quando se trata dos robôs de serviços.

Vale ressaltar que, mesmo com a especificação de regressões, os resultados devem ser lidos com cautela, como uma média condicional robusta, e não como um efeito causal, pois, como afirmado anteriormente, o pressuposto de que os fatores utilizados nos modelos seriam capazes de eliminar por completo a endogeneidade do tratamento é bastante heroico.

Os dados, até aqui, apontam para um perfil específico de empresas que adotam tecnologias de automação, sendo geralmente de maior porte, com um número maior de empregados formais e salários mais elevados. Além disso, em linha com modelos econômicos encontrados na literatura, mesmo quando se controla pelas características iniciais da empresa (porte e remunerações anteriores à adoção da tecnologia), há indicativos de que as firmas automatizadas têm maiores níveis de emprego e salários ligeiramente superiores.

Porém, a evolução recente do emprego e da remuneração sugere uma tendência de substituição do trabalho humano por robôs, já que essas empresas têm produzido com níveis de mão de obra abaixo do que utilizavam no início da década passada. Essa hipótese, no entanto, precisa ser avaliada com maior precisão em estudos futuros, utilizando dados mais setorialmente desagregados.

As tecnologias de automação têm impactos heterogêneos sobre os trabalhadores, podendo contribuir para a desigualdade de rendimentos. Por isso, na próxima subseção, com base nos dados da TIC Empresas e da Rais, analisaremos se existem evidências que suportem as hipóteses da SBTC ou RBTC, segundo as quais a automação tende a substituir empregos de trabalhadores com menor qualificação ou que realizem atividades altamente rotineiras.

3.4 Automação e desigualdade: dados descritivos

Como pudemos observar, o impacto da tecnologia, particularmente a automação, na demanda por trabalho e no rendimento dos trabalhadores é incerto. Por um lado, a tecnologia pode tornar as empresas mais eficientes, o que pode resultar em menor necessidade de mão de obra. Por outro, a tecnologia também aumenta a produtividade e a produção, o que gera mais oportunidades de emprego.

O efeito dessa tecnologia nas oportunidades de emprego e salários para diferentes grupos de habilidades também é ambíguo, pois depende de quais trabalhadores

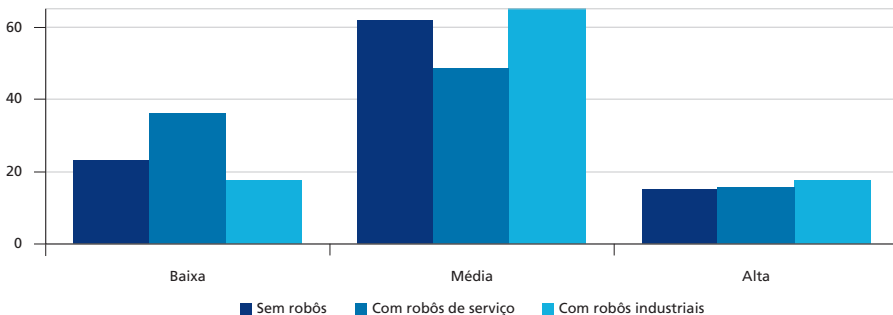
são substitutos ou complementos da tecnologia. Algumas tecnologias, como a inteligência artificial, são capazes de substituir tarefas mais sofisticadas e orientadas para habilidades cognitivas. Já os trabalhadores de altas habilidades complementam as novas tarefas associadas às tecnologias como os robôs de serviços e industriais, os quais executam tarefas rotineiras e codificáveis, substituindo os trabalhadores de baixa habilidade. Nesse último caso, o processo de automação resultaria na redução da demanda relativa por trabalhadores de menor ou média habilidade cognitiva e qualificação, mais propensos a executar tarefas rotineiras, e no aumento da demanda por trabalhadores altamente qualificados, reduzindo as oportunidades de emprego para os menos qualificados e, conseqüentemente, gerando maiores desigualdades no mercado de trabalho (RBTC/SBCT).

Nesta subseção, procuramos verificar, a partir dos dados da TIC Empresas combinados com a Rais, se as teorias da RBTC ou da SBTC encontravam algum suporte no contexto brasileiro. Embora a literatura sobre automação geralmente separe os trabalhadores por grupos ocupacionais e esses grupos por níveis de rotinização, com base no perfil de tarefas executadas (Frey e Osborne, 2017), este capítulo adota um *proxy* para o nível de rotinização, baseado no nível de qualificação.

Brambilla *et al.* (2021) revelam que há uma correspondência forte entre o grau de rotina e o nível instrucional exigido pelas ocupações em países em desenvolvimento. Por isso, em nossa análise, os trabalhadores registrados na Rais foram divididos em três grupos de qualificação: baixa, média e alta. O primeiro grupo compreende indivíduos com grau de instrução abaixo do ensino médio incompleto. O segundo inclui trabalhadores com ensino médio completo e incompleto. O terceiro é composto por indivíduos com ensino superior incompleto ou completo, incluindo mestres e doutores.

GRÁFICO 7

Empresas com e sem robôs: proporção de empregados por nível de qualificação (2018)
(Em %)

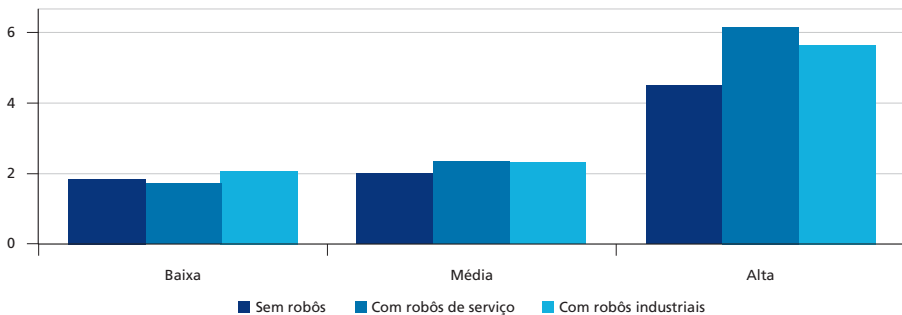


Fonte: TIC Empresas e Rais.

Em uma primeira análise dos dados, os gráficos 7 e 8 apresentam informações que descrevem as diferenças transversais nos salários médios e na proporção de empregados por nível de qualificação entre empresas que utilizam ou não robôs de serviços e industriais. Em ambos os tipos de automação, as empresas que utilizam robôs empregam uma maior proporção de pessoal altamente qualificado, embora o efeito dos robôs de serviço pareça ser marginal. Além disso, há resultados opostos em relação aos trabalhadores de baixa qualificação. No caso dos robôs industriais há uma redução, de 23% para 17%. Nos robôs de serviço houve um aumento considerável, para 36%. Os empregados de média qualificação aumentam sua participação nas empresas que utilizam robôs industriais, e novamente observa-se o oposto no grupo que utiliza robôs de serviços.

GRÁFICO 8

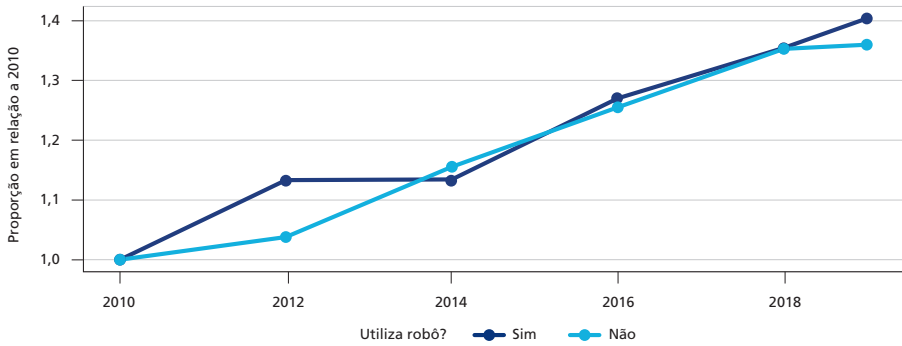
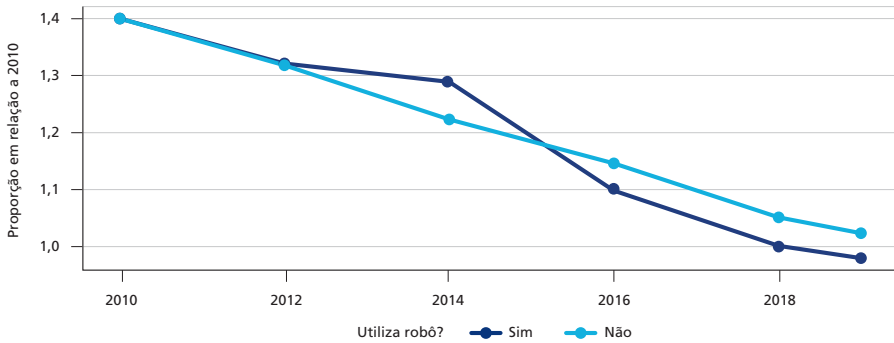
Empresas com e sem robôs: remuneração por nível de qualificação (2018)
(Em R\$ 1 mil)



Fonte: TIC Empresas e Rais.

Quanto às remunerações, há um aumento geral nas empresas que utilizam robôs, quando comparadas às que não utilizam, com uma exceção importante: os profissionais de baixa qualificação nas empresas que utilizam robôs de serviços têm salários cerca de 7% menores. Como há mudanças na proporção de trabalhadores de diferentes qualificações, é necessário considerar um efeito de composição ao analisarmos essas remunerações. Por exemplo, os salários dos trabalhadores de baixa remuneração podem ser mais baixos nas empresas que utilizam robôs de serviços porque o aumento na proporção desses empregados ocorreu entre aqueles com qualificações e salários ainda mais baixos ou com menos experiência. Esse efeito será controlado quando analisarmos os dados por meio de modelos de regressão.

GRÁFICO 9

Robôs industriais: evolução do emprego e dos salários em relação a 2010 (2010-2018)**9A – Alta qualificação****9B – Baixa qualificação**

Fonte: TIC Empresas e Rais.

Como alertado mais de uma vez ao longo do capítulo, também essas médias e proporções por grupos de empresas e qualificação são apenas descritivas e, portanto, os gráficos 7 e 8 não estabelecem relações causais. Para reduzir as limitações da análise transversal e compreender melhor o fenômeno da automação e do emprego nos dois polos de nível instrucional (alta e baixa) analisamos novamente uma série temporal da Rais, entre 2010 e 2019, para os dois grupos de empresas, com e sem robôs. Os gráficos 9 e 10 mostram de forma comparativa a evolução da proporção de profissionais de níveis altos (a) e baixos (b) de qualificação no emprego total em comparação com o primeiro ano da série (2010), tendo em vista os grupos de empresas que afirmaram ou não adotar a tecnologia de automação, de acordo com a pesquisa TIC Empresas 2018-2019.

Os gráficos evidenciam claramente que, independentemente da adoção de robôs, as empresas da amostra da TIC 2018-2019, todas elas no mercado formal, têm visto ao longo dos últimos anos uma redução na proporção de trabalhadores

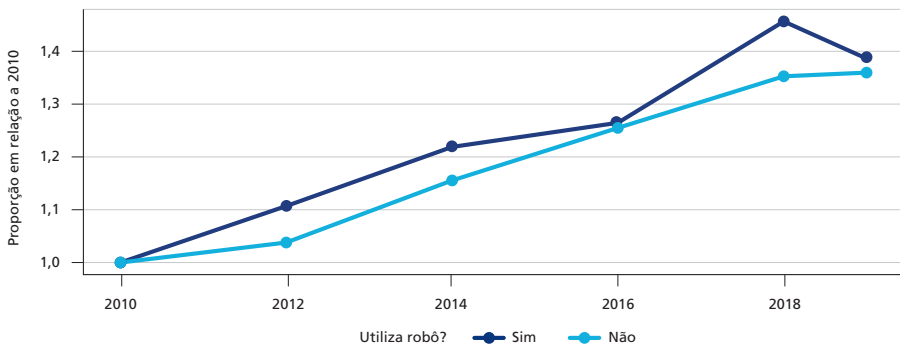
com baixa qualificação e um aumento na proporção de trabalhadores com pelo menos ensino superior incompleto. A proporção de empregados com alta qualificação está entre 35% e 40% acima daquela observada em 2010. Por sua vez, os trabalhadores de baixa qualificação representam entre 57% e 75% do que representavam no início da série.

Esse fenômeno pode ser consequência do avanço tecnológico, com a eliminação de algumas funções de baixa qualificação não apenas pela automação mas também pelo uso de computadores e da internet; e também pode ser parcialmente explicado pela terceirização de tarefas acessórias ou pelo aumento dos anos de estudo dos indivíduos atualmente no mercado de trabalho, uma vez que houve um significativo crescimento no número de pessoas com diploma superior no mercado de trabalho brasileiro nas últimas duas décadas.

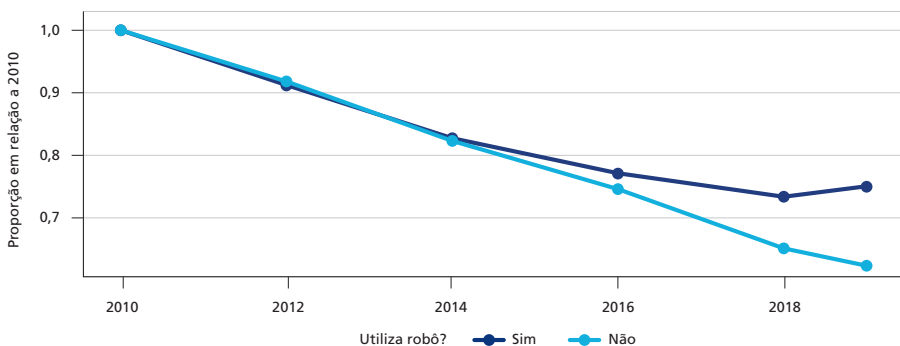
GRÁFICO 10

Robôs de serviço: evolução do emprego e dos salários em relação a 2010 (2010-2018)

10A – Alta qualificação



10B – Baixa qualificação



Fonte: TIC Empresas e Rais.

Quando se trata de empresas que utilizam robôs industriais, os efeitos na estrutura de mão de obra são mais intensos. Desde 2016, após os impactos da crise econômica de 2014-2016, houve um aumento significativo na proporção de funcionários com, pelo menos, nível superior incompleto, na comparação com as demais empresas da amostra. Em 2019, o último ano analisado, esses trabalhadores representavam uma fatia cerca de 40% maior em relação com 2010; nas empresas sem robôs industriais, o aumento foi de 35%. Já essas mesmas empresas que utilizavam robôs industriais em 2018 tiveram uma queda de 43% na proporção de trabalhadores com baixa qualificação, enquanto nas empresas sem automação, a redução foi quase 5 p.p. menor.

No caso das empresas com robôs de serviços, o quadro é mais dúbio. Trabalhadores altamente qualificados tiveram aumentos maiores na sua participação. No entanto, ao contrário do que ocorre com os robôs industriais, nas empresas que utilizam robôs de serviço, houve, pelo menos desde 2014, uma queda relativa menor no percentual de funcionários com baixa capacitação, sendo que, no último ano, ocorreu inclusive um aumento, revertendo a tendência que era observada ininterruptamente desde 2010.

Portanto, com os robôs industriais, existem indícios de que há elevação da demanda relativa por indivíduos capazes de realizar tarefas com alto grau de exigência cognitiva, em detrimento da demanda por pessoas responsáveis por tarefas de menor exigência técnica e, possivelmente, maior rotinização. No entanto, ainda há dúvida se o nível de rotinização é maior na cauda da distribuição de habilidades/capacitação ou na porção média. No setor de serviços há sinais de que pode existir um efeito de polarização do trabalho – *job polarization* (Autor, Levy e Murnane, 2003; Goos e Manning, 2007). Verificaremos essa hipótese, a seguir, nos modelos de regressão.

3.5 Automação e desigualdade: modelos de regressão

As hipóteses referentes aos efeitos heterogêneos da automação sobre o emprego e a remuneração de trabalhadores em diferentes grupos de qualificação foram testadas por meio da especificação de modelos de regressão para dados transversais. Os modelos são divididos em duas categorias. Na primeira, com o objetivo de avaliar possíveis efeitos dos robôs de serviço e industriais no emprego relativo de cada grupo populacional por qualificação, as especificações adotaram como variável de interesse o percentual da participação deles no total dos trabalhadores. Para os dois tipos de robô foram estimados três modelos, com dados agregados por empresa, um para cada perfil de qualificação: alta, média ou baixa. Como nas regressões da seção anterior, utilizaram-se como controles os efeitos fixos de setor e região e o logaritmo dos valores das remunerações médias pagas pela empresa em 2000. Em contrapartida, a variável *logaritmo do número de empregados* em

2000 foi substituída pela proporção de empregados com alta qualificação registrada na empresa naquele ano.

Na segunda categoria de modelos, o objetivo é avaliar o impacto da automação na desigualdade de rendimentos. Para isso, utilizaram-se dados individuais, e a variável dependente foi o logaritmo da remuneração média do indivíduo. Modelos separados foram estimados para cada tipo de robô e perfil populacional (alta, média e baixa qualificações). O modelo econométrico adotado é tipicamente minceriano, com variáveis de controle como educação, experiência – e seus termos quadráticos –, raça/cor, gênero, grau de instrução, e efeitos fixos de região e setor. As variáveis individuais foram retiradas da Rais 2018. Como o tratamento (adoção da automação) é designado na empresa, os erros foram clusterizados nesse nível. As diferenças nos coeficientes dos robôs podem ser interpretadas como o prêmio gerado na interação entre qualificação e uso da automação.

TABELA 3
Robôs e participação no total do emprego (por qualificação)
(Em %)

Alta	Média	Baixa	Feminino
Robô industrial			
0,046***	0,015	-0,063***	-0,010
(0,0139)	(0,019)	(0,015)	(0,015)
Robô de serviços			
0,090**	-0,061	-0,027	-0,001
(0,029)	(0,037)	(0,033)	(0,032)

Fonte: TIC Empresas e Rais.

Obs.: 1. Controles: região, setor, proporção de empregados com alta qualificação e remuneração média em 2000.

2. Níveis de significância: ' = $p < 0,10$; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; e *** = $p < 0,001$.

A tabela 3 explicita os coeficientes da variável *dummy* usa robô (de serviços ou industriais) na regressão da variável dependente *percentual de participação no total dos empregados da firma* de cada um dos perfis populacionais – alta, média, e baixa qualificações. Os resultados são estatisticamente significativos apenas para os trabalhadores de alta e baixa qualificação (nos robôs industriais e de serviços, no primeiro caso, e apenas nos robôs industriais no segundo), mas com sinais opostos. Ou seja, quando se controla pelos efeitos do setor de atividade, da região e dos valores defasados da participação no emprego, há, sim, indícios de que o uso de tecnologias como os robôs têm repercussões na desigualdade, pelo menos na demanda por trabalhadores de diferentes níveis de qualificação.

De acordo com as estimativas, empresas que utilizam robôs de serviços empregam uma proporção 9 p.p. superior de trabalhadores qualificados, com pelo menos nível superior incompleto, enquanto têm uma fatia de empregados

menos qualificados semelhante às demais. Entre aqueles que adotam robôs industriais, há efetivamente redução estatisticamente relevante, de 6 p.p., entre os empregados com menor qualificação e aumento de quase 5 p.p. entre os de formação superior.

Por outro lado, não há sinais de que a automação nas empresas da pesquisa TIC 2018-2019 causou a polarização no mercado de trabalho (diminuição na participação dos níveis médios da distribuição de habilidades). Apesar disso, se relaxarmos a preocupação com a significância estatística, pode existir uma redução no emprego de nível médio nas empresas com robô de serviços.

TABELA 4
Robôs e remuneração por qualificação
(Em pontos logarítmicos)

Alta	Média	Baixa	Feminino	Masculino
Robô industrial				
0,108 ['] (0,064)	0,048 ['] (0,027)	0,000 (0,032)	0,059 (0,047)	0,041 (0,031)
Robô de serviços				
0,097 (0,064)	0,060 ['] (0,036)	0,005 (0,053)	0,045 (0,041)	0,065 (0,041)

Fonte: TIC Empresas e Rais.

Obs.: 1. Erros-padrão clusterizados – controles: idade, raça/cor, experiência, gênero e/ou grau de instrução, região e setor.

2. Níveis de significância: ['] = $p < 0,10$; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; e *** = $p < 0,001$.

Já na tabela 4, os coeficientes estimados são muito imprecisos, provavelmente pelo número limitado de *clusters* com robôs, o que reduziu o poder estatístico da regressão. Ainda assim, se tomarmos como referência de significância o limite de 10%, há argumentos para defender que a automação pode de alguma forma favorecer a desigualdade de rendimentos entre trabalhadores ao aumentar, pelo menos na tipologia industrial, os salários dos níveis de alta e média qualificação, enquanto tem efeito nulo sobre os empregados sem nem mesmo o nível médio incompleto. Nos robôs de serviços, os resultados são ainda mais precários, mas parece também haver algum prêmio maior nos salários do pessoal mais qualificado (alta ou média qualificação).

Portanto, em resumo, os dados levantados nesta subseção mostram que existem motivos de preocupação relacionados aos impactos da adoção da tecnologia de automação sobre os níveis de desigualdades no mercado de trabalho. Embora sejam necessários estudos futuros, com *designs* mais robustos para lidar com a endogeneidade não controlada nos modelos apresentados, a adoção de robôs industriais e de serviços parece favorecer o emprego e os rendimentos de profissionais com maiores qualificações, enquanto tem impacto nulo ou negativo no

pessoal menos capacitado. Em se tratando apenas dos robôs de serviço, a hipótese de polarização do mercado de trabalho merece ser mais bem avaliada.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo busca contribuir com a literatura econômica sobre os efeitos da automação no mercado de trabalho. Especificamente, levantaram-se evidências empíricas iniciais sobre os impactos do uso de robôs industriais e de serviço no emprego e no salário de trabalhadores brasileiros.

Utilizando dados da pesquisa TIC Empresas 2018-2019 e da Rais identificada 2018, constataram-se indícios de que as empresas que adotam robôs possuem maiores níveis de emprego e de salário. Ou seja, firmas adotantes de robôs tendem a ser mais produtivas e, conseqüentemente, a empregar mais pessoas – sendo, portanto, de maior porte – e oferecer maiores salários.

Em uma análise temporal, observou-se que empresas que utilizam robôs industriais, apesar de maiores e de pagarem melhores salários, operam com um número menor de empregados quando comparado ao que empregavam em 2010. Essa constatação pode indicar uma possível substituição do trabalho pelo robô, pois essas firmas, por serem automatizadas – e, conseqüentemente, mais produtivas –, tenderiam a apresentar maior crescimento de mão de obra ao longo dos anos. Essas empresas, no entanto, são predominantemente da indústria de transformação, segmento que mais sofreu com crises em 2015-2016. Percebeu-se, então, que, em uma amostra apenas com empresas da indústria de transformação, as que usam robôs industriais empregam relativamente menos do que as demais, se comparadas com o início da série. De todo modo, possíveis afirmações e aprofundamentos dessa análise cabem a estudos futuros.

Os resultados de um modelo de regressão com dados de 2018, por sua vez, indicaram que as firmas que adotam robôs parecem apresentar um perfil específico: são de maior porte, possuem maior número de empregados formais e apresentam maiores salários, mesmo quando são controlados fatores como setor, região e outras características prévias à adoção do robô.

O uso da automação nas empresas também pode ser uma desvantagem para determinados grupos de pessoas, pois seu impacto é heterogêneo sobre os trabalhadores. Perceberam-se indícios, em corroboração à literatura, de que o uso do robô tende a aumentar a desigualdade entre os mais e os menos escolarizados. Esses achados sinalizam uma necessidade de políticas públicas que, *a priori*, visem diminuir os impactos negativos do uso de robôs em empresas brasileiras para os empregados com menor escolaridade.

Enfim, este capítulo apresenta resultados inéditos e relevantes para ensejar discussões que contribuam com a formulação de políticas públicas do país, especialmente aquelas destinadas aos trabalhadores mais afetados com a tecnologia. Esse olhar se faz pertinente ao se considerarem os possíveis efeitos futuros, já que a automação ainda tem baixa penetração no Brasil. As empresas que usam robôs industriais, por exemplo, concentram-se principalmente na indústria de transformação, representando apenas 4,4% das empresas e quase 15% da mão de obra do setor. Em outras atividades econômicas, essa automação atinge menos de 3% das empresas e não ultrapassa 5% dos trabalhadores. No caso dos robôs de serviço, a adoção é ainda menor, na casa de menos de 2% das empresas e 5% dos trabalhadores.

Esta pesquisa, entretanto, apresenta algumas limitações que precisam ser esclarecidas. Uma delas é exatamente o baixo uso de robôs nas empresas brasileiras, o que pode reduzir o poder estatístico das estimações, precarizando os resultados.

Outro ponto diz respeito à causalidade. Não é possível, como afirmado ao longo do capítulo, atestar qualquer afirmação de causalidade na relação entre robôs, emprego e salários com os dados transversais disponíveis. Os resultados, embora relevantes para uma discussão incipiente sobre o tema no país, devem ser considerados como estilizados e descritivos. Portanto, sugere-se que estudos futuros utilizem dados em painel para que não apenas se controle melhor um possível problema de autosseleção, mas também para que seja possível analisar os dados comparativamente em diferentes anos.

Outra limitação que merece atenção refere-se aos próprios dados usados na pesquisa. Reconhece-se a importância da TIC Empresas, especialmente o pioneirismo da investigação sobre o uso de robôs nas empresas nacionais, mas alguns dados poderiam ser coletados mais detalhadamente, tais como o uso específico dos robôs industriais na empresa e o início de adoção dos robôs. Além disso, a pesquisa poderia apresentar uma definição de robôs equivalente à da IFR, para que os resultados pudessem ser comparáveis. Por fim, a preparação do plano amostral poderia prever a não aglomeração de CNAEs no mesmo grupo, para melhor aproveitamento dos dados específicos de cada atividade econômica.

Uma alternativa para resolver a falta de dados sobre o tema, bem como diminuir a dependência nos dados da TIC Empresas é a incorporação de indicadores de automação nas estatísticas oficiais, como nas pesquisas feitas com as firmas pelo IBGE.

Finalmente, para a agenda de estudos futuros, recomenda-se também a continuação da investigação dos impactos dos robôs, especialmente os de serviço, no nível empresarial e individual, a fim de contribuir para essa escassa literatura no âmbito nacional.

REFERÊNCIAS

- ACEMOGLU, D. *et al.* **Automation and the workforce**: a firm-level view from the 2019 Annual Business Survey. Washington: NBER, 2022. (Working Paper, n. 30659).
- ACEMOGLU, D.; AUTOR, D. Skills, tasks and technologies: implications for employment and earnings. **Handbook of Labor Economics**, v. 4, p. 1043-1171, 2011.
- ACEMOGLU, D.; LELARGE, C.; RESTREPO, P. Competing with robots: firm-level evidence from France. **AEA Papers and Proceedings**, v. 110, p. 383-388, 2020.
- ACEMOGLU, D.; RESTREPO, P. **Modeling automation**. Washington: NBER, 2018. (Working Paper, n. 24321).
- _____. Robots and jobs: evidence from US labor markets. **Journal of Political Economy**, v. 128, n. 6, p. 2188-2244, 2020.
- AGHION, P. *et al.* **What are the labor and product market effects of automation?** New evidence from France. London: CEPR, 2020. (Discussion Papers, n. 14443).
- ALBUQUERQUE, P. H. *et al.* **Na era das máquinas, o emprego é de quem?** Estimação da probabilidade de automação de ocupações no Brasil. Brasília: Ipea, 2019. (Texto para Discussão, n. 2457).
- AUTOR, D. H.; LEVY, F.; MURNANE, R. J. The skill content of recent technological change: an empirical exploration. **Quarterly Journal of Economics**, v. 118, n. 4, p. 1279-1333, 2003.
- BRAMBILLA, I. *et al.* New technologies and the future of jobs in Latin America. *In*: ALBRIEU, R. (Ed.). **Cracking the future of work**: automation and labor platforms in the Global South. Buenos Aires: CIPPEC, 2021.
- DAUTH, W. *et al.* The adjustment of labor markets to robots. **Journal of the European Economic Association**, v. 19, n. 6, p. 3104-3153, 2021.
- DIXON, J.; HONG, B.; WU, L. **The employment consequences of robots**: firm-level evidence. Ottawa: StatCan, 2020. (Analytical Studies Branch Research Paper Series, n. 454).
- EUROSTAT – STATISTICAL OFFICE OF THE EUROPEAN COMMISSION. **European businesses statistics compilers' manual for ICT usage and e-commerce in enterprises**. Luxembourg: Eurostat, 2023.

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.

FU, X. M. *et al.* Diffusion of industrial robotics and inclusive growth: labour market evidence from cross country data. **Journal of Business Research**, v. 122, p. 670-684, 2021.

GOOS, M.; MANNING, A. Lousy and lovely jobs: the rising polarization of work in Britain. **The Review of Economics and Statistics**, v. 89, n. 1, p. 118-133, 2007.

GRAETZ, G.; MICHAELS, G. Robots at work. **Review of Economics and Statistics**, v. 100, n. 5, p. 753-768, 2018.

KATZ, L.; MURPHY, K. M. Changes in relative wages (1963-1987): supply and demand factors. **Quarterly Journal of Economics**, v. 107, n. 1, p. 35-78, 1992.

KOCH, M.; MANUYLOV, I.; SMOLKA, M. Robots and firms. **The Economic Journal**, v. 131, n. 638, p. 2553-2584, 2021.

LIMA, Y. *et al.* Exploring the future impact of automation in Brazil. **Employee Relations: The International Journal**, v. 43, n. 5, p. 1052-1066, 2021.

MANN, K.; PÜTTMANN, L. Benign effects of automation: new evidence from patent texts. **The Review of Economics and Statistics**, v. 103, n. 1, p. 29-46, 2021.

NIC.BR – NÚCLEO DE INFORMAÇÃO E COORDENAÇÃO DO PONTO BR. **Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nas empresas brasileiras: TIC empresas 2019**. Brasília: CGI.BR; NIC.BR, 2020.

OTTONI, B. *et al.* Automation and job loss: the Brazilian case. **Nova Economia**, v. 32, p. 157-180, 2022.

RODRIGO, R. **Robot adoption, organizational capital, and the productivity paradox**. Washington: Georgetown University, 2021. (Working Papers).

STEMMLER, H. Automated deindustrialization: how global robotization affects emerging economies? Evidence from Brazil. **World Development**, v. 171, 2022.

