Digitalização e tecnologias da informação e comunicação

oportunidades e desafios para o Brasil

Luis Claudio Kubota
Organizador

Nações Unidas
CEPAL
ipea
Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

A disponibilidade de um conjunto de tecnologias da informação e comunicação (TICs), tais como internet das coisas, inteligência artificial, computação em nuvem e na borda, redes de comunicação 5G, possibilita o radical redesenho de serviços prestados tanto por empresas quanto por governos, com potenciais ganhos de produtividade.

Como exemplo, podemos citar a adoção de pedágios de passagem livre (*free flow*), por meio de tecnologia de emissão de sinais de tarjetas (*tags*) presentes nos veículos e recepção por antenas em pórticos na rodovia. Na ausência das *tags*, a cobrança é feita a partir da placa dos veículos. Esse sistema já está disponível na rodovia Rio-Santos, e está em processo de expansão no Brasil.

No âmbito do setor público, a entrada e saída do país já pode ser feita por meio de totens, sem a interferência de agentes da Polícia Federal. É possível que ainda em 2024 aeroportos como o de Singapura adotem operações livres de passaporte, inteiramente baseadas em autenticação biométrica.

Do lado positivo, essas inovações representam potencial para os ganhos de produtividade tão necessários para o nosso desenvolvimento, após décadas de relativa estagnação desse indicador.

Em contrapartida, as inovações também apresentam o desafio de requalificar e realocar os profissionais afetados, tais como os operadores das praças de pedágio que serão substituídos pelo sistema *free flow*.

Este livro – *Digitalização e Tecnologias da Informação e Comunicação: oportunidades e desafios para o Brasil* – procura endereçar questões como as citadas anteriormente, assim como outras, igualmente importantes: a regulação da inteligência artificial, as plataformas digitais, o governo digital, a segurança cibernética, a robotização, os padrões internacionais.

As tecnologias atuais já possibilitam ganhos tão necessários para o desenvolvimento do nosso setor produtivo e a melhoria da prestação do serviço ao cidadão, restando o desafio de difundir sua adoção no Brasil.

Deixando uma nota de otimismo, o livro apresenta algumas experiências positivas de adoção das TICs em nosso país: o uso da internet das coisas na mineração e no setor agropecuário, a boa posição do Brasil nos *rankings* de governo digital (em parte devido ao sucesso da plataforma gov.br) e a boa adoção de inteligência artificial pelas firmas brasileiras, quando comparadas às europeias.

Luis Claudio Kubota
Organizador

Digitalização e tecnologias da informação e comunicação

oportunidades e desafios para o Brasil

Luis Claudio Kubota
Organizador

Nações Unidas
CEPAL
ipea
Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

Governo Federal

Ministério do Planejamento e Orçamento
Ministra Simone Nassar Tebet

ipea **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**

Fundação pública vinculada ao Ministério do Planejamento e Orçamento, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiros – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

Presidenta
Luciana Mendes Santos Servo

Diretor de Desenvolvimento Institucional
Fernando Gaiger Silveira

Diretora de Estudos e Políticas do Estado, das Instituições e da Democracia
Luseni Maria Cordeiro de Aquino

Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas
Cláudio Roberto Amitrano

Diretor de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais
Aristides Monteiro Neto

Diretora de Estudos e Políticas Setoriais, de Inovação, Regulação e Infraestrutura
Fernanda De Negri

Diretor de Estudos e Políticas Sociais
Carlos Henrique Leite Corseuil

Diretor de Estudos Internacionais
Fábio Véras Soares

Chefe de Gabinete
Alexandre dos Santos Cunha

Coordenador-Geral de Imprensa e Comunicação Social
Antonio Lassance

Ouvidoria: http://www.ipea.gov.br/ouvidoria
URL: http://www.ipea.gov.br

Digitalização e tecnologias da informação e comunicação

oportunidades e desafios para o Brasil

Luis Claudio Kubota
Organizador

Nações Unidas
CEPAL
ipea
Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
Rio de Janeiro, 2024

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

Digitalização e tecnologias da informação e comunicação : oportunidades e desafios para o Brasil / organizador: Luis Claudio Kubota. – Rio de Janeiro : Ipea, 2024.

434 p. : il., color.

ISBN: 978-65-5635-066-0

1. Tecnologia da Informação. 2. Tecnologia das Comunicações. 3. Internet. 4. Inteligência Artificial. 5. Tecnologia Digital. 6. Brasil. I. Kubota, Luis Claudio. II. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. III. Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe.

CDD 384

Ficha catalográfica elaborada por Andréa de Mello Sampaio CRB-1/1650

Como citar:

KUBOTA, Luis Claudio (org.). **Digitalização e tecnologias da informação e comunicação**: oportunidades e desafios para o Brasil. Rio de Janeiro: Ipea, 2024. ISBN: 978-65-5635-066-0. DOI: http://dx.doi.org/10.38116/9786556350660.

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.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO 7

CAPÍTULO 1
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO BRASIL: ADOÇÃO, PRODUÇÃO CIENTÍFICA E REGULAMENTAÇÃO 9
Luis Claudio Kubota
Maurício Benedeti Rosa

CAPÍTULO 2
ECONOMIA DE PLATAFORMAS: A ECLOSÃO DE EMPRESAS BRASILEIRAS CONTROLADORAS DE PLATAFORMAS DIGITAIS 33
Victo José da Silva Neto
Tulio Chiarini
Leonardo Costa Ribeiro

CAPÍTULO 3
ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 POR EMPRESAS BRASILEIRAS 69
Luis Claudio Kubota
Maurício Benedeti Rosa

CAPÍTULO 4
INTERNET DAS COISAS NO BRASIL: ANÁLISE E RECOMENDAÇÃO DE POLÍTICAS COM ÊNFASE NO AGRONEGÓCIO 115
Luis Claudio Kubota
Maurício Benedeti Rosa

CAPÍTULO 5
IMPLEMENTAÇÃO DA TECNOLOGIA 5G NO CONTEXTO DA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E DA INDÚSTRIA 4.0 153
Robert Spadinger

CAPÍTULO 6
INTERNET DAS COISAS (IOT), TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E INDÚSTRIA 4.0 185
Robert Spadinger

CAPÍTULO 7
AUTOMAÇÃO E MERCADO DE TRABALHO: ANÁLISE DA LITERATURA E EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS 217
Anna Carolina M. L. Ribeiro
Pedro Cavalcanti G. Ferreira
Carlos Denner dos Santos Junior

CAPÍTULO 8
TRANSFORMAÇÃO DIGITAL: ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DA PLATAFORMA GOV.BR E DA EVOLUÇÃO DA MATURIDADE DA POLÍTICA DE GOVERNO DIGITAL NO BRASIL 255
Fernando André Coelho Mitkiewicz

CAPÍTULO 9
O PAPEL DA SEGURANÇA CIBERNÉTICA NO UNIVERSO DIGITAL: A IMPORTÂNCIA DO FATOR HUMANO 295
Emilio Tissato Nakamura

CAPÍTULO 10
ANÁLISE PRELIMINAR DO PROGRAMA NORTE-AMERICANO CREATING HELPFUL INCENTIVES TO PRODUCE SEMICONDUCTORS (CHIPS) 341
Ana Paula Macedo de Avellar

CAPÍTULO 11
INTERESSE COMERCIAL DOS RESULTADOS DA PESQUISA ACADÊMICA EM PROGRAMAS DE COMPUTADOR 369
André Rauen
Eduardo Toshiro Fujito
Marcos Rezende

CAPÍTULO 12
GOVERNANÇA GLOBAL – OCDE, REGULAÇÃO, NORMAS TÉCNICAS E TECNOLOGIA DIGITAL 405
Luís Fernando Tironi

NOTAS BIOGRÁFICAS 433

APRESENTAÇÃO

As tecnologias da informação e comunicação (TICs) são parte cada vez mais importante do cotidiano das pessoas, seja em suas vidas pessoais, seja no ambiente corporativo. Estão presentes nos mais diversos serviços governamentais e privados, incluindo educação, saúde, transportes, comércio, entre outros.

Recentemente, o mundo inteiro foi tomado de surpresa pelo lançamento do ChatGPT, um serviço de inteligência artificial (IA) generativa capaz de produzir textos similares aos criados por seres humanos.

A IA pode ser um tema que gera interesse na imprensa e na sociedade, entretanto, esta tecnologia só tem potencial de impactar a produtividade quando aliada a várias outras TICs, tais como: internet das coisas (*internet of things* – IoT), conectividade, plataformas digitais, análise de grandes quantidades de dados (*big data*) e segurança cibernética.

Este livro procura abordar essas tecnologias, a partir do esforço de pesquisadores do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) e de convidados externos.

No capítulo 1, Luis Kubota e Maurício Rosa analisam experiências de regulação da IA dos países do Grupo dos Sete (G7) e do Brasil, além de apresentarem indicadores de adoção da IA no setor empresarial e no governo e uma análise bibliométrica da produção científica sobre IA.

O capítulo 2 traz a primeira pesquisa quantitativa do Brasil sobre empresas de plataforma digital, realizada por Victo Silva, Tulio Chiarini e Leonardo Ribeiro. Os autores encontraram 556 empresas de plataformas brasileiras e caracterizaram esse conjunto em termos de tamanho, fonte de financiamento e setor de operação.

No capítulo 3, Luis Kubota e Maurício Rosa apresentam um estudo empírico sobre o estado da indústria 4.0 no Brasil, a partir de dados da TIC Empresas 2021. No capítulo 4, os mesmos autores abordam uma pesquisa qualitativa sobre a IoT no Brasil, com ênfase no agronegócio.

No capítulo 5, Robert Spadinger traz uma discussão sobre a introdução da tecnologia 5G no mercado de comunicações móveis, com suas principais características e seus impactos para novos modelos de negócios e serviços. No capítulo 6, o mesmo autor efetua uma análise das perspectivas para os serviços e tecnologias associadas ao 5G, à IoT e à indústria 4.0 na Europa.

No capítulo 7, Anna Carolina Ribeiro, Pedro Ferreira e Carlos Denner realizam uma análise empírica do impacto da robotização no mercado de trabalho brasileiro, a partir do cruzamento da TIC Empresas 2019 e da Relação Anual de Informações Sociais 2018.

No capítulo 8, Fernando Mitkiewicz apresenta o estudo de caso da plataforma gov.br e uma análise da maturidade da política de governo digital no Brasil.

No capítulo 9, Emilio Nakamura discute o papel da segurança cibernética no universo digital, com ênfase na importância do fator humano, iniciando com os riscos cibernéticos e incidentes de segurança da informação no Brasil e no mundo.

No capítulo 10, Ana Paula Avellar desenvolve uma análise do programa Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors (Chips) nos Estados Unidos.

No capítulo 11, André Rauen, Eduardo Fujito e Marcos Rezende utilizam uma base inédita e censitária de dados referentes à propriedade intelectual de Instituições Federais de Ensino Superior (Ifes) brasileiras, apresentando os resultados em termos do interesse comercial pela pesquisa em programas de computador realizada nas Ifes.

No capítulo 12, Luís Tironi apresenta uma análise da regulação e da padronização no mercado das TICs, com ênfase nas recomendações da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE).

Esperamos que o leitor aprecie a leitura desse conjunto de estudos que contribui para o entendimento e a recomendação de políticas públicas relacionadas às TICs no Brasil.

Luciana Mendes Santos Servo
Presidenta do Ipea

CAPÍTULO 1

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO BRASIL: ADOÇÃO, PRODUÇÃO CIENTÍFICA E REGULAMENTAÇÃO[1,2]

Luis Claudio Kubota[3]
Maurício Benedeti Rosa[4]

1 INTRODUÇÃO

Entre as oportunidades para o desenvolvimento da inteligência artificial (IA) no Brasil, os dados mostram que a adoção dessa tecnologia por empresas brasileiras e a disponibilidade de cientistas de dados e especialistas em aprendizado de máquina estão em linha com os países europeus. A adoção por organizações governamentais também é significativa. A análise bibliométrica apresentada neste capítulo revela que os Estados Unidos e a China estão isolados em sua disputa pela liderança na produção científica em IA, com o Brasil atrás da maioria dos países desenvolvidos.

O recente lançamento do Chat Generative Pre-Trained Transformer (ChatGPT) gerou um alvoroço em torno da IA, em geral, e dos grandes modelos de linguagem generativa, em particular. Personalidades como os empresários Elon Musk e Steve Wozniak, além de especialistas em IA, como Yoshua Bengio e Stuart Russell, assinaram uma carta aberta pedindo uma pausa de seis meses no desenvolvimento da tecnologia.

Enquanto isso, vários países estão se apressando para desenvolver regulamentações na área. O Parlamento Europeu acabou de aprovar sua posição de negociação sobre a proposta da Lei de Inteligência Artificial.[5] No Brasil, a Câmara

1. Os autores agradecem as sugestões de Tulio Chiarini e Anna Carolina Ribeiro e as informações fornecidas por Luiz Gondin, Hélio Fonseca, James Görgen e Alexandre Messa, do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), e por Cristina Uechi, André Silva e Daniel Boson, do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Quaisquer erros remanescentes são de responsabilidade dos autores.

2. Uma parte deste capítulo foi publicada na revista *Radar* nº 73, em agosto de 2023, sob o título *O Papel do Poder Executivo na Regulamentação da IA: a experiência do Japão, Reino Unido, Estados Unidos e lições para o Brasil*. Uma versão em inglês foi publicada como *Nota Técnica*.

3. Técnico de planejamento e pesquisa na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais, de Inovação, Regulação e Infraestrutura do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Diset/Ipea).

4. Bolsista do Subprograma de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) na Diset/Ipea.

5. O Parlamento Europeu negociará com o Conselho da União Europeia e a Comissão Europeia um processo tripartite. O objetivo do diálogo trilateral é alcançar consenso sobre uma proposta legislativa que seja aceitável tanto para o parlamento quanto para o conselho e os colegisladores. A comissão atua como mediadora, facilitando o acordo entre os colegisladores. O acordo deve ser adotado formalmente por cada uma das instituições. Disponível em: https://www.artificial-intelligence-act.com/. Acesso em: 18 jun. 2023.

dos Deputados aprovou o Projeto de Lei (PL) nº 21/2020 regulamentando a IA,[6] enquanto o presidente do Senado propôs o PL nº 2.338/2023, elaborado por um comitê de juristas.[7]

Tendo em vista a natureza dos processos legislativos, a aprovação desses instrumentos legais exigirá uma quantidade significativa de tempo.[8] Embora considerável atenção tenha sido dada a essas propostas legislativas, neste capítulo focamos na regulamentação da IA pelo Poder Executivo. Por um lado, o Congresso Brasileiro avançou nas discussões sobre a regulamentação da IA quando comparado a seus pares internacionais. Por outro lado, o governo federal parece estar atrasado em comparação com os países analisados neste estudo.

Este capítulo está organizado da seguinte forma: a segunda seção apresenta uma perspectiva da adoção de IA no Brasil, tanto por empresas quanto pelo governo. A terceira seção apresenta uma análise bibliométrica da produção científica sobre IA. A quarta seção, por sua vez, discute a regulamentação e as orientações dadas pelos Poderes Executivos do Brasil e dos países do Grupo dos Sete (G7).[9] A quinta seção debate as razões pelas quais o Poder Executivo brasileiro deveria ser mais ativo na regulamentação da IA. A sexta seção, por fim, traz as considerações finais.

2 PANORAMA DA ADOÇÃO DE IA NO BRASIL

Esta seção apresenta algumas estatísticas sobre a adoção de IA nos setores empresarial e público no Brasil. No primeiro caso, foi possível realizar uma análise comparativa internacional.

2.1 Empresas

A 14ª edição da pesquisa TIC Empresas ampliou o uso do arcabouço desenvolvido pelo Gabinete de Estatísticas da União Europeia (European Statistical System – Eurostat), possibilitando a comparação com países que se destacam em pesquisa. Se comparado com países europeus,[10] o Brasil não fica atrás da maioria deles, com 13% de suas empresas utilizando algum tipo de IA. Com base nos dados apresentados no gráfico 1, a Dinamarca é líder no continente europeu, com 24% de suas empresas declarando usar algum tipo de tecnologia de IA, seguida por Portugal e Finlândia. O baixo nível de adoção em países como Alemanha, Noruega e Suécia sugere que a fronteira de desenvolvimento de

6. Disponível em: https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/2236340. Acesso em: 18 jun. 2023.

7. Disponível em: https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/157233?_gl=1*1ihmgt6*_ga*MzQzOTM2MTkyLjE2ODcxMTczMTk.*_ga_CW3ZH25XMK*MTY4NzExNzMxOC4xLjAuMTY4NzExNzMyNi4wLjAuMA. Acesso em: 18 jun. 2023.

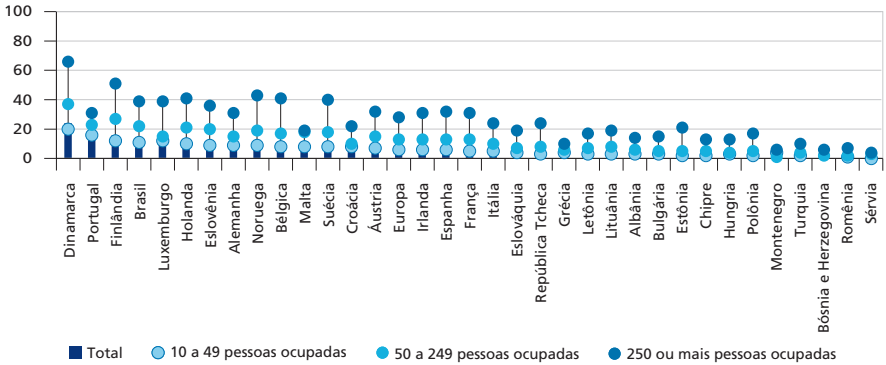
8. As duas propostas são muito diferentes. Há conversas para a formação de um comitê conjunto para analisar o tema.

9. Estados Unidos, Japão, Alemanha, Reino Unido, França, Itália e Canadá.

10. Países cobertos pelo Eurostat.

IA não está no continente europeu (Kubota e Lins, 2022). Em termos de tamanho da firma, os valores do Brasil são sempre superiores ao da média europeia.

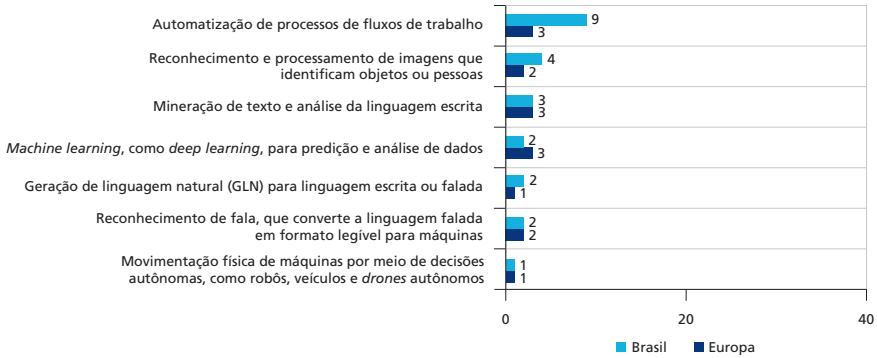
GRÁFICO 1
Empresas que utilizaram tecnologias de IA, por país e porte (2021)
(Em %)



Fonte: Kubota e Lins (2022, p. 7), Eurostat e Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (Cetic.br). Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/isoc_e_esms.htm; e https://cetic.br/en/tics/pesquisa/2021/empresas/.

Ao analisar as características da adoção de IA, conforme representado no gráfico 2, o Brasil se destaca em relação à Europa com um número maior de empresas que utilizaram IA para automação do fluxo de trabalho, seguido por reconhecimento e processamento de imagens. Para outros tipos de uso, não há muita diferença entre firmas brasileiras e europeias. No continente europeu, os diferentes tipos de uso de IA estão mais distribuídos, embora em proporções muito pequenas (Kubota e Lins, 2022).

GRÁFICO 2
Empresas brasileiras e europeias que utilizaram tecnologias de IA, por tipo (2021)
(Em %)



Fonte: Kubota e Lins (2022, p. 7), Eurostat e Cetic.br. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/isoc_e_esms.htm; e https://cetic.br/en/tics/pesquisa/2021/empresas/.

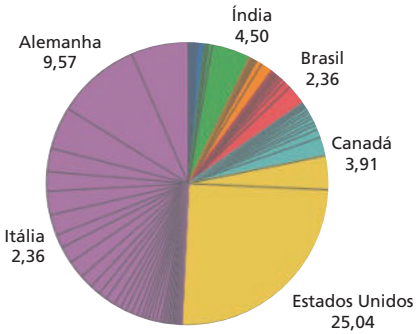
Por fim, vale a pena analisar as dificuldades enfrentadas pelas empresas para inserir a IA em suas rotinas. De acordo com os resultados ilustrados no gráfico 3, no caso do Brasil, as duas principais razões para não usar nenhuma aplicação de IA foram a incompatibilidade com equipamentos, *software* ou sistemas existentes na empresa (19%) e a ideia de que as tecnologias de IA não são úteis para a empresa (18%) (Kubota e Lins, 2022).

GRÁFICO 3
Empresas brasileiras que não utilizaram tecnologias de IA, por motivo (2021)
(Em %)

Fonte: Kubota e Lins (2022, p. 8) e Cetic.br. Disponível em: https://cetic.br/en/tics/pesquisa/2021/empresas/.

O gráfico 4 mostra que o Brasil tem um número de cientistas de dados e especialistas em aprendizado de máquina semelhante ao de países europeus como a Itália, ao passo que apresenta valores inferiores à Alemanha, à Índia e ao Canadá. Como a população brasileira é muito maior que a de países como Itália, Alemanha ou Canadá, em termos relativos estamos em posição muito inferior.

GRÁFICO 4
Cientistas de dados e especialistas em aprendizado de máquina, por país (2022)
(Em %)

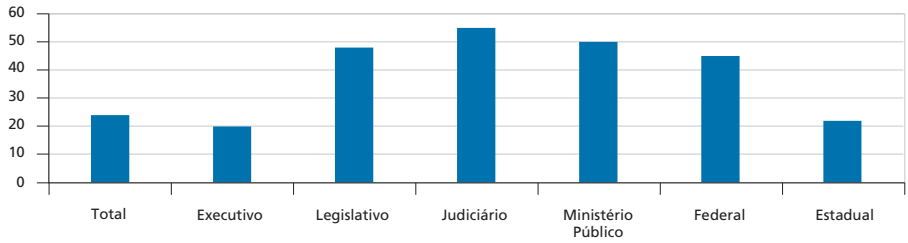


Fonte: OECD, 2023. Disponível em: https://oecd.ai/en/data?selectedArea=ai-demographics&selectedVisualization=ai-demographics-by-country.
Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

2.2 Setor público brasileiro

A Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial (Ebia) menciona exemplos de adoção de IA no setor público (Brasil, 2021a).[11] Também existe um inventário de casos de uso na administração pública brasileira feito pela Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE).[12] O gráfico 5 mostra que a adoção de IA é muito alta no Judiciário, no Legislativo e no Ministério Público e menor no Executivo e nas organizações estaduais.

GRÁFICO 5
Organizações governamentais federais e estaduais brasileiras que utilizaram tecnologias de IA nos últimos doze meses, por total, Poder e nível governamental (2021)
(Em %)



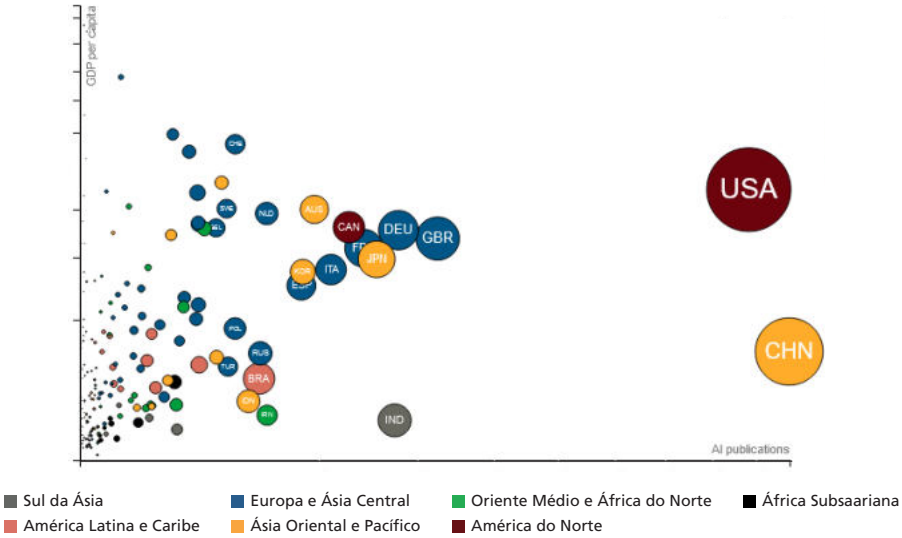
Fonte: NIC.br (2022).

11. Uma análise das estratégias não apenas para o Brasil, mas também para Argentina, Chile, Colômbia e Coreia do Sul pode ser consultada em Chiarini e Silveira (2022).
12. Disponível em: https://oecd.ai/en/dashboards/policy-initiatives/http:%2F%2Faipo.oecd.org%2F2021-data-policyInitiatives-27107. Acesso em: 2 jul. 2023.

3 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

A OCDE possui uma ferramenta de inteligência de negócios que permite que qualquer interessado possa realizar facilmente consultas. No gráfico 6, por exemplo, é possível observar que China e Estados Unidos lideram no número de publicações acumuladas *per capita* sobre IA no período de 2010 a 2022. Os dois países são seguidos por membros do G7 e pela Índia, Áustria, Coreia do Sul e Espanha. O Brasil aparece no bloco seguinte, junto a Países Baixos, Rússia, Indonésia e Irlanda.

GRÁFICO 6
Publicações *per capita* sobre IA (2010-2022)[1]



Fonte: OECD, 2023. Disponível em: https://oecd.ai/en/data?selectedArea=ai-research.
Nota: [1] Publicações acumuladas no período correspondente.
Obs.: 1. O tamanho da bolha representa o total de publicações científicas e a cor, a região.
2. Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

A ferramenta de inteligência de negócios está disponível para qualquer usuário. No restante desta seção, apresenta-se uma análise bibliométrica com o objetivo de caracterizar a literatura sobre IA. O crescimento exponencial no número de documentos nas últimas décadas tornou a análise bibliométrica uma ferramenta poderosa para investigar assuntos de interesse e identificar áreas de pesquisa futuras (Bonilla, Merigó e Torres-Abad, 2015). Além disso, como afirmado por Donthu *et al*. (2021), a análise bibliométrica é útil para decifrar e mapear o conhecimento científico acumulado e as nuances evolucionárias de áreas do conhecimento bem-estabelecidas, ao dar sentido a grandes volumes de dados desestruturados de forma rigorosa. Estudos bibliométricos bem conduzidos

podem fornecer as fundações para o avanço da área de conhecimento de modelo significativo, ao empoderar os pesquisadores a ganhar uma visão geral, identificar as lacunas de conhecimento, apresentar novas ideias de investigação e posicionar as contribuições que pretendem fazer à área.

Outras análises bibliométricas têm sido feitas sobre IA; no entanto, esses estudos geralmente estão focados em setores ou aplicações específicas. Por exemplo, Dhamija e Bag (2020) realizaram uma avaliação da IA no ambiente de operações, Guo *et al*. (2020) realizaram uma análise da literatura de IA relacionada à saúde e Goodell *et al*. (2021) identificaram as bases, os temas e os grupos de pesquisa relacionados tanto à IA quanto ao aprendizado de máquina no campo das finanças. Esta seção tem como foco a literatura sobre IA de forma mais ampla.

Existem opiniões divergentes sobre a base de dados mais adequada para caracterizar efetivamente cada assunto, sendo as bases Scopus e Web of Science (WoS) as mais amplamente utilizadas.[13] Riahi *et al*. (2021) argumentam que a Scopus oferece uma cobertura mais ampla em comparação com a WoS, abrangendo diversos campos de ciência, tecnologia, entre outros, garantindo, assim, alta precisão e uma vasta gama de documentos. Em contrapartida, Bircan e Salah (2022) afirmam que a WoS, como o serviço de indexação mais antigo para publicações científicas, é amplamente utilizada e indexa periódicos de alta qualidade. Portanto, para aproveitar suas respectivas vantagens, tanto a base de dados Scopus quanto a WoS são utilizadas nesta análise.

A expressão de busca utilizada em ambas as bases de dados é exclusivamente *artificial intelligence*.[14] O período selecionado vai de 2000 a 2023 e inclui vários tipos de documentos, como: i) artigos de periódicos; ii) artigos de conferência; iii) artigos de revisão; iv) editoriais; e v) capítulos de livro. A busca foi realizada nos campos título, resumo e palavras-chave de cada documento, resultando em 428.072 e 112.587 correspondências para Scopus e WoS, respectivamente.

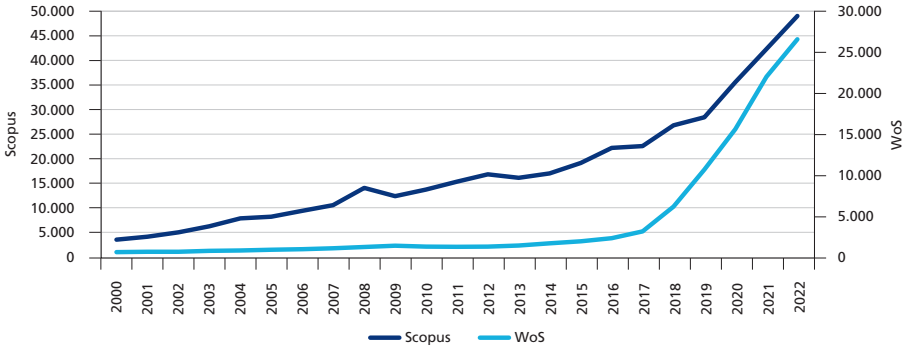
O gráfico 7 ilustra a evolução temporal do número de documentos sobre IA em ambas as bases de dados.[15] Os eixos verticais esquerdo e direito correspondem a Scopus e WoS, respectivamente.

13. Não interessa neste capítulo plotar e discutir uma série de gráficos que o leitor pode facilmente consultar por conta própria na ferramenta interativa disponível no sítio da OCDE. Por esse motivo, doravante, desenvolve-se uma análise tradicional de bibliometria.

14. Existe uma ampla gama de expressões que poderia ser adicionada na consulta, mas, em virtude de dificuldades operacionais devido ao elevado número de publicações, optou-se por restringir a busca à expressão inteligência artificial.

15. O ano de 2023 foi excluído deste gráfico por ainda estar incompleto quando o capítulo foi concluído.

GRÁFICO 7
Número de documentos sobre IA em Scopus e WoS (2000-2022)[1]



Fonte: Scopus e WoS.
Elaboração dos autores.
Nota: [1] Dados coletados em 27 de junho de 2023.

Além de possuir maior quantidade de documentos, a base de dados Scopus demonstra uma tendência de crescimento mais acentuada desde 2000, com uma inclinação maior observada após 2019. Os números na WoS, por sua vez, parecem seguir uma tendência linear de 2000 até 2017, seguida por um aumento substancial de 3 mil para mais de 25 mil documentos nos últimos cinco anos.

A tabela 1 apresenta os dez países que contribuíram com o maior número de documentos, além do Brasil, em ambas as bases de dados. O Brasil ocupa a 14ª e a 16ª posição em Scopus e WoS, respectivamente, conforme indicado na parte inferior da tabela.[16]

TABELA 1
Distribuição dos documentos por país em Scopus e WoS[1]

Scopus			WoS		
Ranking	País	%	*Ranking*	País	%
1	China	15,7	1	Estados Unidos	14,3
2	Estados Unidos	15,0	2	China	14,3
3	Índia	6,2	3	Inglaterra	5,0
4	Reino Unido	5,3	4	Índia	5,0
5	Alemanha	4,3	5	Alemanha	3,9
6	Itália	3,3	6	Itália	3,5
7	França	3,1	7	Espanha	3,2

(Continua)

16. Os resultados para países, tipos de documentos e afiliações de autores são apresentados em porcentagens em função das variações no número total de documentos. Essas variações decorrem da classificação de um único documento em mais de uma categoria.

(Continuação)

Scopus			WoS		
Ranking	País	%	*Ranking*	País	%
8	Espanha	3,0	8	Canadá	3,0
9	Canadá	2,9	9	Coreia do Sul	2,8
10	Japão	2,9	10	Austrália	2,7
14	Brasil	1,4	16	Brasil	1,7

Fonte: Scopus e WoS.
Elaboração dos autores.
Nota: [1] Dados coletados em 27 de junho de 2023.

China e Estados Unidos competem consistentemente pela primeira posição, estando próximos um do outro em ambos os casos.[17] Merecem destaque a Índia, o Reino Unido e a Alemanha como proeminentes na pesquisa em IA. É notável que a maioria dos países representados no *top* 10 é classificada como de alta renda, com todas as nações do G7 incluídas.

A tabela 2 apresenta a distribuição percentual de cada tipo de documento em ambas as bases de dados. Na Scopus, os artigos de conferência compreendem quase 60% da literatura de IA, posicionando-os no topo da lista. Em contrapartida, os artigos de periódicos ocupam o primeiro lugar na WoS, representando 58,5% do total. Essa distinção parece confirmar que a WoS indexa principalmente periódicos de maior impacto, resultando em um número mais restrito de documentos no processo de busca.

TABELA 2
Classificação da literatura de IA por tipo de documento[1]
(Em %)

Tipo de documento	Scopus	WoS
Artigo de conferência	58,7	26,5
Artigo de periódico	32,4	58,5
Artigo de revisão	4,2	9,7
Capítulo de livro	2,8	1,4
Editorial[2]	2,0	3,9

Fonte: Scopus e WoS.
Elaboração dos autores.
Notas: [1] Dados coletados em 27 de junho de 2023.
[2] Material editorial se refere a artigos que expressam as opiniões de indivíduos, grupos ou organizações. Essa categoria engloba editoriais, entrevistas, comentários, discussões entre indivíduos, discussões pós-artigos, simpósios de mesa-redonda e conferências clínicas.

17. Não faz parte do escopo do capítulo aprofundar a análise dessa disputa. Os leitores interessados podem consultar Rikap e Lundvall (2021). Uma análise da disputa entre os dois países no setor de semicondutores pode ser encontrada nos capítulos 10 e 11 do livro.

Ao categorizar os documentos de IA com base em áreas de pesquisa, tanto Scopus quanto WoS destacam ciência da computação e engenharia como as duas principais áreas de estudo. A tabela 3 detalha as cinco principais áreas de pesquisa da literatura em IA, tanto para o mundo como considerando apenas documentos que têm o Brasil como país (ou um dos países) de origem.

TABELA 3
Distribuição da literatura sobre IA por área de pesquisa, no Brasil e no mundo, para Scopus e WoS[1]

Scopus				WoS			
Mundo	%	Brasil	%	Mundo	%	Brasil	%
Ciência da computação	38,2	Ciência da computação	38,4	Ciência da computação	22,7	Ciência da computação	25,4
Engenharia	15,4	Matemática	15,0	Engenharia	17,8	Engenharia	18,3
Matemática	14,5	Engenharia	14,0	Telecomunicações	4,0	Química	2,8
Medicina	5,1	Medicina	4,6	Tecnologia científica, outros tópicos	3,1	Telecomunicações	2,6
Ciências sociais	3,2	Ciências sociais	3,7	Química	2,7	Agricultura	2,3

Fonte: Scopus e WoS.
Elaboração dos autores.
Nota: [1] Dados coletados em 13 de julho de 2023.

A diferença entre a ciência da computação, primeira colocada em todas as análises, e a segunda colocada é mais extensa na base de dados Scopus – da ordem de mais de 20 pontos percentuais (p.p.); na WoS tal magnitude é em torno de 5 p.p. apenas. Na base Scopus, o Brasil tem na segunda posição a área de matemática, invertendo as posições com a área de engenharia quando em comparação ao contexto mundial. Na WoS, cujas áreas de pesquisa têm algum grau maior de detalhamento, ressalta-se a área de agricultura na quinta posição da literatura em IA brasileira. Isso reforça a força do agronegócio e a vasta aplicabilidade de tecnologias no campo. De forma adicional, a tabela 4 mostra as principais afiliações institucionais dos autores.

TABELA 4
Afiliação dos autores em Scopus e WoS[1]

Scopus			WoS		
Ranking	Filiação	%	*Ranking*	Filiação	%
1	Chinese Academy of Sciences	2,75	1	Chinese Academy of Sciences	0,56
2	Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)	1,98	2	University of California System	0,56
3	Ministry of Education China	1,72	3	Udice French Research Universities	0,49

(Continua)

(Continuação)

Scopus			WoS		
Ranking	Filiação	%	*Ranking*	Filiação	%
4	Tsinghua University	1,69	4	University of London	0,47
5	Carnegie Mellon University	1,65	5	Harvard University	0,46
6	Shanghai Jiao Tong University	1,19	6	N8 Research Partnership	0,44
7	Nanyang Technological University	1,19	7	Egyptian Knowledge Bank (EKB)	0,39
8	Stanford University	1,16	8	CNRS	0,38
9	Massachusetts Institute of Technology	1,13	9	University of Texas System	0,31
10	Zhejiang University	1,12	10	State University System of Florida	0,29
11	University of Chinese Academy of Sciences	1,09	11	Stanford University	0,28
12	National University of Singapore	1,05	12	Indian Institute of Technology System (IIT System)	0,27
13	University of Oxford	1,00	13	University College London	0,26
14	University of Toronto	0,99	14	Tsinghua University	0,26
15	Imperial College London	0,92	15	Harvard Medical School	0,26
41	University of São Paulo	0,69	67	University of São Paulo	0,14

Fonte: Scopus e WoS.
Elaboração dos autores.
Nota: [1] Dados coletados em 27 de junho de 2023.

A Academia Chinesa de Ciências ocupa a primeira posição em ambas as bases de dados, e muitas universidades da China, bem como dos Estados Unidos, lideram o *ranking*. Há também instituições do Reino Unido, do Canadá, da França e da Índia entre as quinze primeiras posições. A Universidade de São Paulo (USP) é a primeira a representar o Brasil e ocupa as posições 41 e 67 em Scopus e WoS, respectivamente.

Avalia-se também as principais agências de fomento, embora sem representação em formato de tabela. A Fundação Nacional de Ciências Naturais da China ocupa a primeira posição tanto na base Scopus quanto na WoS. A segunda e a terceira posição são ocupadas pela Fundação Nacional de Ciências e pelo Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento da China, na Scopus, e pela Comissão Europeia e pelo Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos, na WoS. As primeiras instituições brasileiras ocupam as posições 15 e 22 na Scopus – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), respectivamente – e 19 e 25 na WoS – CNPq e Capes, respectivamente.

4 A EXPERIÊNCIA BRASILEIRA E DE PAÍSES DO G7 NA REGULAÇÃO DE IA E O GUIA PARA O PODER EXECUTIVO

Vários estudos recentes têm se dedicado a analisar a regulação e as estratégias de IA em diferentes países. Cueva *et al.* (2022), por exemplo, desenvolveram um amplo *benchmarking* da regulação da IA em um grupo de diversos países. Melo *et al.* (2022) o fizeram para um grupo selecionado de países: União Europeia (UE), Reino Unido, Estados Unidos, Austrália e Japão. Chiarini e Silveira (2022) avaliaram as estratégias de IA em países latino-americanos, juntamente com a Coreia do Sul. Filgueiras (2023) também examinou as estratégias de IA em países latino-americanos. Radu (2021) analisou essas estratégias em um grupo de nações, enquanto Filgueiras (2022) concentrou-se em Estados Unidos, Brasil, Arábia Saudita, China, Singapura e Rússia. Nesta seção, trazemos algumas informações atualizadas até 2023 para o Brasil e os países do G7.

Japão e Reino Unido foram os países com estudos mais aprofundados sobre diferentes modelos de regulação (Cueva *et al.*, 2022). Habuka (2023) classificou os países do G7 em dois grupos em relação à governança da IA. O primeiro, composto por França, Alemanha, Itália e Canadá, está tentando adotar uma abordagem holística e baseada em leis rígidas, estabelecendo obrigações e sanções rigorosas em caso de violação. O segundo grupo, formado por Japão, Reino Unido e Estados Unidos, segue uma abordagem setorial e baseada em leis flexíveis.[18]

4.1 Brasil

Legislação, regulamentação e uso ético compõem o primeiro eixo (transversal) da Ebia, que destaca a importância de encontrar um equilíbrio entre: i) proteção e salvaguarda dos direitos; ii) estruturas adequadas para incentivar o desenvolvimento de uma tecnologia cujo potencial ainda não foi totalmente compreendido; e iii) estabelecimento de parâmetros legais para fornecer segurança jurídica aos diferentes atores na cadeia de valor dos sistemas autônomos (Brasil, 2021a).

A Ebia afirma que é necessário estudar os impactos da IA em diferentes setores, evitando ações regulatórias que possam limitar desnecessariamente a inovação, a adoção e o desenvolvimento da IA. Em contrapartida, princípios éticos devem ser seguidos em todas as etapas de uso e desenvolvimento da IA, podendo, até mesmo, ser elevados a requisitos normativos.

18. Martin-Bariteau e Scassa (2021) dão os seguintes exemplos de *soft law*: códigos de ética, estruturas de governança de dados, políticas, padrões, ferramentas de avaliação de impacto, comitês de ética e outras declarações informais.

O box 1 destaca ações estratégicas relacionadas à legislação, à regulamentação e ao uso ético na Ebia (Brasil, 2021b). Embora concordemos com todas as recomendações, parece haver uma falta de implementação.[19]

BOX 1
Ações estratégicas: legislação, regulação e uso ético da IA

- Estimular a produção de IA ética financiando projetos de pesquisa que visem aplicar soluções éticas, principalmente nos campos de equidade e não discriminação (fairness), responsabilidade e prestação de contas (accountability) e transparência (transparency), conhecidas como a matriz FAT.
- Estimular parcerias com corporações que estejam pesquisando soluções comerciais dessas tecnologias de IA ética.
- Estabelecer como requisito técnico em licitações que os proponentes ofereçam soluções compatíveis com a promoção de uma IA ética (por exemplo, estabelecer que soluções de tecnologia de reconhecimento facial adquiridas por órgãos públicos possuam um percentual de falso positivo abaixo de determinado limiar).
- Estabelecer, de maneira multissetorial, espaços para a discussão e definição de princípios éticos a serem observados na pesquisa, no desenvolvimento e no uso da IA.
- Mapear barreiras legais e regulatórias ao desenvolvimento de IA no Brasil e identificar aspectos da legislação brasileira que possam requerer atualização, de modo a promover maior segurança jurídica para o ecossistema digital.
- Estimular ações de transparência e de divulgação responsável no tocante ao uso de sistemas de IA, e promover a observância, por tais sistemas, de direitos humanos, de valores democráticos e da diversidade.
- Desenvolver técnicas para identificar e tratar o risco de viés algorítmico.
- Elaborar política de controle de qualidade de dados para o treinamento de sistemas de IA.
- Criar parâmetros sobre a intervenção humana em contextos de IA em que o resultado de uma decisão automatizada implica um alto risco de dano para o indivíduo.
- Incentivar a exploração e o desenvolvimento de mecanismos de revisão apropriados em diferentes contextos de utilização de IA por organizações privadas e por órgãos públicos.
- Criar e implementar melhores práticas ou códigos de conduta com relação à coleta, à implantação e ao uso de dados, incentivando as organizações a melhorar sua rastreabilidade, resguardando os direitos legais.
- Promover abordagens inovadoras para a supervisão regulatória (por exemplo, sandboxes e hubs regulatórios).

Fonte: Brasil (2021b, p. 6).

Ainda, a Agência Nacional de Proteção de Dados elaborou dois documentos sobre IA, um deles sobre *sandboxes* regulatórios, e tem se envolvido nos debates sobre o tema.

4.2 Canadá

A Estratégia Pan-Canadense de Inteligência Artificial tem como objetivo apoiar e fortalecer pesquisadores em IA, graduados qualificados, bem como a comunidade nacional de pesquisa, e foi uma das primeiras medidas a ser lançada.[20] O Conselho Consultivo em Inteligência Artificial, por sua vez, foi estabelecido em 2019 para aconselhar o governo federal sobre políticas relacionadas à IA.[21] O governo criou uma lista de fornecedores com 73 já pré-aprovados para soluções de IA,[22] e lançou

19. O desenvolvimento da implementação da Ebia pode ser acompanhado na página do governo, disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/inteligencia-artificial-estrategia-repositorio. Acesso em: 2 jul. 2023.

20. Disponível em: https://ised-isde.canada.ca/site/ai-strategy/en. Acesso em: 2 jul. 2023.

21. Disponível em: https://ised-isde.canada.ca/site/advisory-council-artificial-intelligence/en. Acesso em: 2 jul. 2023.

22. Disponível em: https://oecd.ai/en/dashboards/policy-initiatives/http:%2F%2Faipo.oecd.org%2F2021-data-policyInitiatives-24197. Acesso em: 2 jul. 2023.

várias regulamentações e diretrizes relacionadas à área: uma diretiva sobre tomada de decisões automatizadas, em vigor desde 1º de abril de 2019,[23] uma ferramenta de avaliação de impacto algorítmico[24] e uma ferramenta sobre o uso responsável da IA.[25] O programa nacional de atividades inclui um treinamento que vai de estudantes do ensino médio a bolsistas de pós-doutorado, bem como o empoderamento das mulheres na área de IA. O governo provincial de Québec lançou o Fórum IA Québec para ajudar a província a aproveitar todo o potencial da IA,[26] e a Estratégia de IA de Québec (Brandusescu, 2021).

Brandusescu (2021) argumenta que há muitas questões em torno das diferentes regulamentações jurisdicionais da IA. Na mesma linha, Martin-Bariteau and Scassa (2021) destacam que a IA implica um amplo escopo de questões de ordem legal que nem sempre estão na jurisdição federal. Além disso, a IA tem sido tratada por diferentes departamentos e agências governamentais.

4.3 França

A França elaborou a primeira estratégia de desenvolvimento de IA por um membro da UE, em 2018. Trata-se do documento *IA para a Humanidade: estratégia francesa para a inteligência artificial*, conforme exposto por Radu (2021). O país possui uma extensa lista de estratégias e regulamentações de IA, e a área é considerada pelo Ministério das Forças Armadas uma prioridade da defesa nacional.[27] O Ministério da Coesão Territorial e o Ministério da Economia e Finanças patrocinaram um relatório focado no desenvolvimento setorial (França, 2019). A segunda fase da estratégia nacional para a IA, por sua vez, enfatizou a importância de atrair talentos (França, 2021).

O governo confiou à Association Française de Normalisation (AFNOR)[28] a missão de definir uma estratégia nacional para a padronização da IA (AFNOR, 2021). Em setembro de 2022, o governo lançou uma chamada para propostas de projetos para avaliar os benefícios de dispositivos médicos baseados em IA[29] e produtos industriais com IA incorporada, e emitiu recomendações de boas práticas para integrar a ética no desenvolvimento de soluções de IA na área da saúde (França, 2022). O governo também apoiou a iniciativa Confiance.ai, formada por um

23. Disponível em: https://www.tbs-sct.canada.ca/pol/doc-eng.aspx?id=32592. Acesso em: 2 jul. 2023.
24. Disponível em: https://www.canada.ca/en/government/system/digital-government/digital-government-innovations/responsible-use-ai/algorithmic-impact-assessment.html. Acesso em: 2 jul. 2023.
25. Disponível em: https://www.canada.ca/en/government/system/digital-government/digital-government-innovations/responsible-use-ai.html. Acesso em: 2 jul. 2023.
26. Disponível em: https://forumia.quebec/en/. Acesso em: 2 jul. 2023.
27. Disponível em: https://www.inria.fr/fr/le-ministere-des-armees-et-l-intelligence-artificielle. Acesso em: 2 jul. 2023.
28. Órgão responsável pela padronização na França.
29. Disponível em: https://gnius.esante.gouv.fr/fr/strategie-dacceleration-sante-numerique/strategie-structurante. Acesso em: 2 jul. 2023.

grupo de acadêmicos e industriais franceses de excelência na área para desenvolver aplicações confiáveis de IA para sistemas críticos.[30] A França também fez parcerias com a Alemanha e o Japão em relação à IA,[31,32] ao mesmo tempo que patrocinou uma rede de institutos interdisciplinares de IA.[33]

4.4 Alemanha

A estratégia de IA do governo federal alemão foi publicada em 2018. O Observatório de IA no Trabalho e na Sociedade foi criado em março de 2020, vinculado ao Laboratório de Políticas de Trabalho e Sociedade do Ministério Federal do Trabalho e Assuntos Sociais (Cueva *et al.*, 2022), e abarca as seguintes tarefas: i) possibilitar a interação entre desenvolvedores de IA, usuários, especialistas e a sociedade; ii) garantir a competitividade de longo prazo da economia alemã; e iii) promover a IA centrada nas pessoas e orientada para o bem comum.[34]

A estratégia afirma que o governo federal revisará o arcabouço jurídico para avaliar a abrangência de todos os aspectos relacionados a algoritmos, decisões, serviços e produtos baseados em IA, fazendo os ajustes necessários para viabilizar a verificação de qualquer discriminação indevida ou de algum viés, garantindo que os sistemas de IA sejam transparentes, previsíveis e verificáveis (Cueva *et al.*, 2022).

A estratégia também prevê que o governo federal verifique se há brechas para algoritmos ou aplicativos de IA e que a Comissão de Ética de Dados e a Comissão de Estudos sobre Inteligência Artificial do Bundestag façam recomendações para o governo federal. Ambas foram criadas para responder a questões técnicas, legais, políticas e éticas. A Comissão de Estudos recomendou que a supervisão e a aplicação das regras sejam papéis principalmente das autoridades de supervisão setorial, que possuem experiência específica no setor. Por sua vez, a ética de dados afirmou que a legislação é uma das várias ferramentas que podem ser usadas para tornar os princípios éticos tangíveis. É vital utilizar vários instrumentos de governança – legislação e normalização –, mas também de corregulação ou autorregulação (Cueva *et al.*, 2022).

30. Disponível em: https://www.confiance.ai/?lang=en. Acesso em: 2 jul. 2023.

31. Disponível em: https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Downloads/R/roadmap-research-and-innovation-network-on-artificial-intelligence.pdf?__blob=publicationFile&v=2. Acesso em: 2 jul. 2023.

32. Disponível em: https://www.universite-lyon.fr/international/lancement-d-un-appel-a-projets-trilateral-france-japon-allemagne-autour-de-l-intelligence-artificielle-117992.kjsp?RH=1487584195571. Acesso em: 2 jul. 2023.

33. Disponível em: https://instituts-3ia.fr/. Acesso em: 2 jul. 2023.

34. Disponível em: https://www.ki-observatorium.de/en/the-ai-observatory/faq. Acesso em: 27 jun. 2023.

4.5 Itália

O Ministério do Desenvolvimento Econômico patrocinou um grupo de especialistas que recomendou uma política de IA antropocêntrica, utilizando o princípio da precaução na adoção da tecnologia (Cueva *et al.*, 2022). Os especialistas recomendaram: i) alinhamento com a legislação existente; ii) observância dos princípios de precaução e transparência; iii) promoção do aumento da criatividade humana, em vez de substituição; e iv) introdução de responsabilidades civis pelos provedores (Itália, 2021).

O Programa Estratégico de Inteligência Artificial 2022-2024 foi patrocinado por vários ministérios (Agostini, 2023) e tem como objetivo promover a tecnologia; no capítulo de governança, enfatiza-se a importância da coordenação dentro da administração para monitorar a eficácia do plano (Caputo *et al.*, 2021).

4.6 Japão

No Japão, a estratégia tecnológica de IA foi publicada em maio de 2017 (Radu, 2021). Em 2019, o governo japonês publicou os Princípios Sociais da IA Centrada no Ser Humano, enfatizando três princípios básicos que poderiam ajudar o país a realizar a Sociedade 5.0:[35] i) dignidade humana; ii) diversidade e inclusão; e iii) sustentabilidade. O documento também estabeleceu sete princípios adicionais necessários para a realização de uma sociedade com os três princípios básicos mencionados: i) centralização no ser humano; ii) educação e/ou alfabetização; iii) proteção da privacidade; iv) segurança; v) competição justa; vi) justiça, responsabilidade e transparência; e vii) inovação (Japão, 2019).

Em julho de 2021, o governo publicou as diretrizes de governança para implementação dos princípios de IA, com metas de ações voltadas a dar suporte à implementação de princípios de IA necessários para facilitar o desenvolvimento da tecnologia.[36]

Também foram publicadas diretrizes e recomendações de políticas sobre a proteção e utilização de dados, promoção de contratos justos para desenvolvimento de IA e transferência de dados, além de gerenciamento de qualidade de aprendizado de máquina. Existem também regulamentações setoriais referentes a veículos de direção automatizada, valores de crédito usando dados e IA e uso de IA e *drones* para inspeções de pressão de gás.

---

35. Diz respeito a uma sociedade centrada no ser humano, que implementa IA, internet das coisas (*internet of things* – IoT), robótica e outras tecnologias de ponta para criar valor inaudito, na qual uma vasta parcela da população possa desfrutar seu próprio bem-estar enquanto respeita o bem-estar dos outros. Disponível em: https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/jinkouchinou/pdf/humancentricai.pdf. Acesso em: 18 jun. 2023.

36. É interessante notar que o documento foi atualizado em janeiro de 2022, apenas seis meses após a primeira versão.

4.7 Reino Unido

O Reino Unido possui um escritório de IA, parte do Departamento de Ciência, Inovação e Tecnologia. O país parece ser um dos mais ambiciosos em seus planos, com o próprio primeiro-ministro afirmando que pretende fazer dele não apenas o lar intelectual, mas também o lar geográfico da regulação de segurança da IA, e acrescentou que o setor de tecnologia estava no centro de sua prioridade de crescimento econômico. A nação britânica decidiu dividir a responsabilidade regulatória da IA entre várias entidades que supervisionam direitos humanos, saúde e segurança, e concorrência (UK PM Sunak..., 2023).

O Reino Unido estabeleceu o Acordo Setorial da IA, em 2018, a Estratégia Nacional de IA, em 2021, e o documento de política *Uma Abordagem Pró-Inovação para a Regulação de IA*, em março de 2023 (United Kingdom, 2023). Vamos focar nossa análise na publicação mais recente.

Por um lado, o prefácio da Secretária de Estado de Ciência, Inovação e Tecnologia enfatiza o objetivo de tornar o Reino Unido uma superpotência científica e tecnológica até 2030, além de promover o país à posição de referência global na construção, na testagem e no uso da tecnologia de IA. Por outro lado, reconhece-se a necessidade de lidar com os diversos riscos apresentados pela IA e destaca-se a necessidade de construir confiança com consumidores, serviços públicos e empresas sobre a tecnologia (United Kingdom, 2023).

Em vez de ter como alvo tecnologias específicas, o arcabouço apresentado no parágrafo anterior concentra-se no contexto em que a IA é implantada. A abordagem do Reino Unido baseia-se na colaboração entre governo, reguladores e empresas, e a princípio eles não têm a intenção de introduzir nova legislação. Eles pretendem monitorar em tempo real como o arcabouço regulatório está funcionando. Os cinco princípios que fundamentam o documento são: i) segurança, robustez e confiabilidade; ii) transparência e explicabilidade; iii) justiça; iv) responsabilidade e governança; e v) contestabilidade e reparação (United Kingdom, 2023).

O órgão de regulação da informação do Reino Unido está testando o impacto de produtos e serviços relacionados à IA por meio de *sandboxes* regulatórios, especialmente no que diz respeito a questões relativas à privacidade (OECD, 2023).

4.8 Estados Unidos

Em fevereiro de 2019, o então presidente Trump assinou a *Ordem Executiva nº 13859: mantendo a liderança americana em inteligência artificial*, que dispõe sobre: i) inovações no governo, na indústria e na academia para a competitividade e segurança nacional; ii) desenvolvimento de padrões técnicos; iii) treinamento da mão de obra atual e futura; iv) desenvolvimento de confiança pública e proteção

de liberdades civis e privacidade; e v) proteção de tecnologias críticas de IA de aquisição por competidores estratégicos e nações adversárias (United States, 2019a).

Ainda em 2019, o governo publicou o documento *Princípios de IA: recomendações sobre o uso ético da inteligência artificial*, pelo Departamento de Defesa (DoD), enfatizando os seguintes princípios éticos de IA: responsabilidade, equidade, rastreabilidade, confiabilidade e governabilidade (United States, 2019b).

Em novembro de 2020, o diretor do Escritório de Administração e Orçamento dos Estados Unidos emitiu um memorando para os chefes dos departamentos executivos e das agências encorajando a inovação e o crescimento em IA e estabelecendo os seguintes princípios para a governança de aplicações de IA: confiança pública em IA, participação pública, integridade científica e qualidade da informação, avaliação e gestão de riscos, benefícios e custos, flexibilidade, justiça e não discriminação, divulgação e transparência, segurança e coordenação interagências (Vought, 2020).

Em outubro de 2022, a Casa Branca emitiu o *Projeto para uma Declaração de Direitos de IA*, alertando que sistemas destinados a auxiliar o paciente se mostraram inseguros, ineficientes ou viesados. Algoritmos usados em contratação e decisões de crédito refletiram e reproduziram desigualdades indesejáveis, ou apresentaram novas e maléficas formas de discriminação e viés. Além disso, coleções não checadas de mídia social têm sido utilizadas para ameaçar as oportunidades das pessoas, reduzir sua privacidade, ou monitorar sua atividade, muitas vezes sem o devido consentimento (United States, 2022).

Para lidar com essas ameaças, o documento inclui recomendações para: sistemas seguros e eficazes; proteções contra discriminação algorítmica; privacidade de dados; notificação e explicação. Inclui também alternativas, considerações e soluções humanas. Sua estrutura descreve proteções que devem ser aplicadas em relação a sistemas automatizados que têm o potencial de impactar o exercício dos cidadãos em relação a: direitos civis, liberdades e privacidade; oportunidades iguais; e acesso a recursos ou serviços críticos (United States, 2022).

A administração de serviços gerais emitiu um *Guia de IA para o Governo: um guia vivo e em evolução para a aplicação de IA para o governo federal dos Estados Unidos*, um documento voltado para líderes experientes e tomadores de decisão das agências.[37] O governo lançou também uma versão alfa de uma ferramenta de avaliação de impacto algorítmico.[38]

37. Disponível em: https://coe.gsa.gov/coe/ai-guide-for-government/print-all/index.html.
38. Disponível em: https://www.cio.gov/aia-eia-js/#/. Acesso em: 2 jul. 2023.

De acordo com Schreck, Gomez e Charkoudian (2023), o cenário de regulamentação de IA nos Estados Unidos é menos claro que na UE ou no Reino Unido: há menos regras formais e informais as quais as firmas estadunidenses de IA podem consultar para guiar suas condutas. As principais regulamentações que valem a pena mencionar são: o *framework* de risco de IA, *blogspots* da Comissão Federal de Comércio[39] e o guia para o pessoal da administração da indústria e de alimentos e drogas (United States, 2023). O governo estabeleceu um acordo com as maiores empresas líderes de IA para a implantação de medidas como marcas d´água em conteúdo gerado pela tecnologia (Shear, Kang e Sanger, 2023).

Recentemente, o presidente Biden emitiu a Ordem Executiva sobre a Inteligência Artificial Segura, Protegida e Confiável. Ela traz uma série de normativos a respeito de segurança, privacidade, equidade, direitos civis e uso responsável da IA pelo governo, com ênfase na proteção de consumidores, pacientes, estudantes e trabalhadores.

4.9 Sumário da experiência brasileira e do G7

Analisando as diferentes experiências, é possível destacar alguns pontos de interesse. Nos casos da França e da Alemanha, houve uma parceria estreita entre os poderes Executivo e Legislativo. Embora Japão e Reino Unido também sejam países parlamentaristas, a análise dos documentos sugere que os Executivos foram mais autônomos em suas iniciativas referentes à IA. O caso do Canadá destaca a complexa divisão de responsabilidades entre os níveis federal e provincial. O caso britânico, por sua vez, é aquele em que a IA parece ser considerada de forma mais estratégica pelo alto escalão do Poder Executivo. A Ebia propõe várias ações estratégicas coerentes relacionadas à legislação, à regulamentação e ao uso ético da IA, mas parece haver uma falta de implementação.

5 RAZÕES PELAS QUAIS O EXECUTIVO BRASILEIRO DEVE PROMOVER E GUIAR REGULAMENTAÇÕES DE IA

Por um lado, a primeira razão para a promoção da regulamentação é que a IA pode ser usada para melhorar a prestação de serviços públicos, por exemplo, quando os cidadãos solicitam informações ou precisam preencher e buscar documentos. Por outro, no entanto, ela pode potencialmente agravar questões relacionadas à prestação de serviços, à privacidade e à ética (Mehr, 2017). No Reino Unido, ela está sendo utilizada para melhorar o atendimento médico do Sistema Nacional de Saúde e tornar o transporte mais seguro (United Kingdom, 2023). Além disso,

39. Conferir, por exemplo, o artigo disponível em: https://www.ftc.gov/business-guidance/blog/2023/02/keep-your-ai-claims-check. Acesso em: 19 jun. 2023.

uma regulamentação sólida pode ser uma ferramenta para promover a adoção dessas tecnologias pelo governo e pelo setor privado.

A segunda razão é a realidade do federalismo *de facto*[40] brasileiro. Quando se trata de questões relacionadas à tecnologia, é comum que o governo federal lidere a implementação de muitas políticas públicas. Portanto, as políticas de IA do governo federal podem ter um efeito exemplar sobre as entidades subnacionais. O cenário parece ser muito mais simples do que no caso canadense mencionado anteriormente.

A terceira razão é a regulamentação vertical. Como esperado, ambos os PLs em discussão no Congresso Nacional têm uma natureza mais conceitual e não detalham a regulamentação setorial de IA. Essa regulamentação vertical é tradicionalmente desenvolvida pelos ministérios setoriais e pelas agências reguladoras. Seguindo o arcabouço regulatório do Reino Unido, acreditamos que os reguladores especializados são os mais adequados para entender os riscos em seus setores e podem adotar uma abordagem proporcional para a regulamentação da IA (United Kingdom, 2023).

Nesse ponto, é interessante destacar a proposta dos *sandboxes* regulatórios, que são componente importante dos PLs de regulação da IA, da UE e do Senado Federal brasileiro. Conforme ressalta OECD (2023), várias autoridades regulatórias – tipicamente partes da esfera do Executivo – podem estar envolvidas nos testes, tais como autoridades de regulação, de proteção da propriedade intelectual, de padronização, de proteção de dados, entre outras.

As experiências mais avançadas de uso de *sandboxes* regulatórios no Brasil se dão no âmbito do sistema financeiro. Em 13 de junho de 2019, houve a publicação de Comunicado Conjunto da Secretaria Especial de Fazenda do Ministério da Economia, do Banco Central do Brasil (BCB), da Comissão de Valores Mobiliários (CVM) e da Superintendência de Seguros Privados (Susep), tornando pública a intenção de implantar um modelo de *sandbox* regulatório no Brasil. Os princípios do *sandbox* regulatório do BCB, da CVM e da Susep são similares, porém essas autoridades possuem competências legais distintas, aplicáveis aos seguintes âmbitos: BCB, aos sistemas financeiro e de pagamento; CVM, ao mercado de capitais; e Susep, ao mercado de seguros privados.[41]

A quarta razão para a promoção da regulamentação da IA é que os três poderes do governo são usuários intensivos dessa tecnologia. Grandes modelos de IA estão sendo desenvolvidos por entidades governamentais, explorando as enormes quantidades de dados produzidos pela prestação de serviços públicos.

40. Termo em latim que representa a situação real, em oposição à situação prevista nos regramentos.
41. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/sandbox. Acesso em: 18 jul. 2023.

A regulamentação federal deve orientar não apenas o desenvolvimento interno desses modelos, mas também a aquisição de serviços de IA. Além disso, o governo também está promovendo o desenvolvimento tecnológico da IA (Silva, 2023).[42]

Por fim, a quinta razão – conforme mencionado anteriormente – é que a Ebia propõe várias ações estratégicas sólidas relacionadas à legislação, à regulamentação e ao uso ético da IA, mas parece haver deficiência na sua implementação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Congresso Brasileiro tem avançado significativamente na discussão da regulamentação da IA. Kubota e Lins (2022) mostraram que as empresas brasileiras, quando comparadas às suas contrapartes europeias, estão relativamente bem posicionadas na adoção de tecnologias de IA e na disponibilidade de cientistas de dados e especialistas em aprendizado de máquina. O Brasil também possui exemplos interessantes de adoção de IA no setor público (Brasil, 2021a). Em contrapartida, o volume de produção científica brasileira não é tão significativo quanto o observado em países desenvolvidos. Além disso, o governo parece estar ficando para trás em relação à regulamentação e às orientações de IA quando comparado ao Japão, aos Estados Unidos, à França e ao Reino Unido. Apresentamos uma série de razões pelas quais deve haver um esforço para fechar essa lacuna, visando ao bem-estar dos cidadãos, ao avanço dos serviços públicos e ao desenvolvimento das empresas. Desenhar sistemas de governança para tecnologias de propósito geral não é tarefa fácil (Radu, 2021), e recomendações a respeito são sugestões para pesquisas futuras.

REFERÊNCIAS

AFNOR – ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **Developing artificial intelligence we can trust**: 2021 file. [s.l.]: AFNOR, 2021. Disponível em: https://normalisation.afnor.org/en/wp-content/uploads/sites/3/2021/05/DOSSIER_DE_PRESSE_AFNOR_10-TP_ENV2.pdf.

AGOSTINI, M. Intelligenza artificiale, il governo italiano pronto a creare un fondo da 150 milioni di euro per le startup. **Hardware Upgrade**, 15 giugno 2023. Disponível em: https://www.hwupgrade.it/news/web/intelligenza-artificiale-il-governo-italiano-pronto-a-creare-un-fondo-da-150-milioni-di-euro-per-le-startup_117278.html. Acesso em: 27 jun. 2023.

42. Disponível em: http://www.finep.gov.br/chamadas-publicas/chamadapublica/705. Acesso em: 19 jun. 2023.

BIRCAN, T.; SALAH, A. A. A. A bibliometric analysis of the use of artificial intelligence technologies for social sciences. **Mathematics**, v. 10, n. 23, p. 4398, Nov. 2022.

BONILLA, C. A.; MERIGÓ, J. M.; TORRES-ABAD, C. Economics in Latin America: a bibliometric analysis. **Scientometrics**, v. 105, n. 2, p. 1239-1252, Nov. 2015.

BRANDUSESCU, A. **Artificial intelligence policy and funding in Canada**: public investments, private interests. Montreal: McGill University, 2021. Disponível em: https://www.ssrn.com/abstract=4089932. Acesso em: 2 jul. 2023.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estratégia brasileira de inteligência artificial (Ebia)**. Brasília: MCTI, 2021a.

_____. **Summary of the Brazilian artificial intelligence strategy (Ebia)**. Brasilia: MCTI, 2021b.

CAPUTO, B. *et al*. **Programma strategico intelligenza artificiale 2022-2024**. Roma: Dipartimento per la Transformazione Digitale, nov. 2021.

CHIARINI, T.; SILVEIRA, S. A. D. **Exame comparativo das estratégias nacionais de inteligência artificial de Argentina, Brasil, Chile, Colômbia e Coreia do Sul**: consistência do diagnóstico dos problemas-chave identificados. Rio de Janeiro: Ipea, out. 2022. (Texto para Discussão, n. 2805). Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11528/1/TD_2805_Web.pdf.

CUEVA, R. V. B. *et al*. **Comissão de juristas responsável por subsidiar elaboração de substitutivo sobre inteligência artificial no Brasil**. Brasília: Senado Federal, 2022. (Relatório Final).

DHAMIJA, P.; BAG, S. Role of artificial intelligence in operations environment: a review and bibliometric analysis. **The TQM Journal**, v. 32, n. 4, p. 869-896, July 2020.

DONTHU, N. *et al*. How to conduct a bibliometric analysis: an overview and guidelines. **Journal of Business Research**, v. 133, p. 285-296, Sept. 2021.

FILGUEIRAS, F. Artificial intelligence policy regimes: comparing politics and policy to national strategies for artificial intelligence. **Global Perspectives**, v. 3, n. 1, p. 32362, Feb. 2022.

_____. Designing artificial intelligence policy: comparing design spaces in Latin America. **Latin American Policy**, v. 14, n. 1, p. 5-21, Mar. 2023.

FRANÇA. Ministère de la Cohésion des Territoires. **Intelligence artificielle**: état de l'art et perspectives pour la France rapport final. Paris: DGE, 2019. (Études Économiques).

_____. **Stratégie nationale pour l'intelligence artificielle**: 2ᵉ phase – conquérir les talents et transformer notre potentiel scientifique en succès économiques. Paris: [s.n.], nov. 2021.

_____. Ministère des Solidarités et de la Santé. **Recommandations de bonnes pratiques pour intégrer l'éthique dès le développement des solutions d'Intelligence Artificielle en Santé**: mise en œuvre de «l'éthique by design». [s.l.]: Ministère des Solidarités et de la Santé, avr. 2022. Disponível em: https://esante.gouv.fr/sites/default/files/media_entity/documents/ethic_by_design_guide_vf.pdf.

GOODELL, J. W. *et al*. Artificial intelligence and machine learning in finance: identifying foundations, themes, and research clusters from bibliometric analysis. **Journal of Behavioral and Experimental Finance**, v. 32, p. 100577, Dec. 2021.

GUO, Y. *et al*. Artificial intelligence in health care: bibliometric analysis. **Journal of Medical Internet Research**, v. 22, n. 7, p. e18228, July 2020.

HABUKA, H. **Japan's approach to AI regulation and its impact on the 2023 G7 presidency**. Washington: CSIS, Feb. 2023.

ITÁLIA. Ministero dello Sviluppo Economico. **Proposte per una strategia italiana per l'intelligenza artificiale**. [s.l.]: Mise, 2021.

JAPÃO. **Social principles of human-centric AI**. Tokyo: Cabinet Office, 2019.

KUBOTA, L. C.; LINS, L. M. **New technologies and innovation in enterprises**: internet sectoral overview. São Paulo: Cetic.br, Sept. 2022.

MARTIN-BARITEAU, F.; SCASSA, T. **Artificial intelligence and the law in Canada**. New York: Lexis Nexis, 2021.

MEHR, H. **Artificial intelligence for citizen services and government**. Cambridge: ASH Center for Democratic Governance and Innovation, 2017.

MELO, A. K. A. *et al*. **Regulação da inteligência artificial**: *benchmarking* de países selecionados. Brasília: Enap, dez. 2022.

NIC.BR – NÚCLEO DE INFORMAÇÃO E COORDENAÇÃO DO PONTO BR (Ed.). **Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação no setor público brasileiro**: TIC Governo Eletrônico 2021. São Paulo: CGI.br, 2022.

OECD – ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Regulatory sandboxes in artificial intelligence**. [s.l.]: OECD, July 2023.

RADU, R. Steering the governance of artificial intelligence: national strategies in perspective. **Policy and Society**, v. 40, n. 2, p. 178-193, 3 Apr. 2021.

RIAHI, Y. *et al*. Artificial intelligence applications in supply chain: a descriptive bibliometric analysis and future research directions. **Expert Systems with Applications**, v. 173, p. 114702, July 2021.

RIKAP, C.; LUNDVALL, B.-Å. **The digital innovation race**: conceptualizing the emerging new world order. Cham: Palgrave MacMillan, 2021.

SCHRECK, M.; GOMEZ, M.; CHARKOUDIAN, S. G. **US artificial intelligence regulations**: watch list for 2023. [s.l.]: Goodwin, Apr. 2023.

SHEAR, M. D.; KANG, C.; SANGER, D. E. Pressured by Biden, A.I. companies agree to guardrails on new tools. **The New York Times**, 21 July 2023. Disponível em: https://www.nytimes.com/2023/07/21/us/politics/ai-regulation-biden.html. Acesso em: 24 jul. 2023.

SILVA, G. Governo contrata *startups* de tecnologia para inserção de I.A.s no serviço público. **Extra**, jun. 2023. Disponível em: https://extra.globo.com/economia/servidor-publico/coluna/2023/06/governo-contrata-startups-detecnologia-para-insercao-ias-no-servico-publico.ghtml. Acesso em: 26 jun. 2023.

UK PM SUNAK pitches Britain as future home for AI regulation. **Reuters**, 12 jun. 2023. Disponível em: https://www.reuters.com/technology/uk-must-seize-opportunities-ai-remain-tech-capital-pm-sunak-2023-06-11/#:~:text=%22I%20want%20to%20make%20the,of%20AI%20without%20stifling%20innovation.

UNITED KINGDOM. Department for Science, Innovation and Technology. **A pro-innovation approach to AI regulation**. London: DSIT, Mar. 2023. (Command Paper, n. 815). Disponível em: https://www.gov.uk/government/publications/ai-regulation-a-pro-innovation-approach/white-paper.

UNITED STATES. **Executive Order No. 13859**: maintaining American leadership in artificial intelligence. Washington: The White House, Feb. 2019a.

_____. Defense Innovation Board. **AI principles**: recommendations on the ethical use of artificial intelligence by the Department of Defense. Washington: Department of Defense, 2019b.

_____. **Blueprint for an AI bill of rights**: making automated systems work for the American people. Washington: The White House, 2022.

_____. **Assembler's guide to diagnostic x-ray equipment**: guidance for industry and food and drug administration staff. Rockville: FDA, Feb. 2023. Disponível em: https://www.fda.gov/media/80801/download. Acesso em: 26 jun. 2023.

VOUGHT, R. T. **Memorandum for the heads of executive departments and agencies**. Washington: Office of Management and Budget, Nov. 2020.

CAPÍTULO 2

ECONOMIA DE PLATAFORMAS: A ECLOSÃO DE EMPRESAS BRASILEIRAS CONTROLADORAS DE PLATAFORMAS DIGITAIS[1,2]

Victo José da Silva Neto[3]
Tulio Chiarini[4]
Leonardo Costa Ribeiro[5]

1 INTRODUÇÃO

A literatura acadêmica internacional tem abordado as transformações nos sistemas econômicos e sociais causadas pelas novas tecnologias digitais (Davies *et al.*, 2017). Conceitos como "economia de plataforma" (Kenney e Zysman, 2016), "sociedade de plataforma" (Van Dijck, Poell e Waal, 2018), "capitalismo de plataforma" (Srnicek, 2017) e "capitalismo de vigilância" (Zuboff, 2019), embora apresentem diferentes nuances, destacam o papel desempenhado pelas grandes empresas privadas de tecnologia e chamam atenção para a "revolução" (Parker, Van Alstyne e Choudary, 2016) provocada pelas plataformas.

Evidências empíricas mostram que as arquiteturas tecnológicas e as escolhas de governança das plataformas não são neutras, afetando o funcionamento tanto das democracias quanto dos mercados (Van Dijck, Poell e Waal, 2018). Ao coordenar e gerir mercados, as empresas de plataforma (empresas que controlam plataformas digitais) se tornam um ponto privilegiado de atrito, capaz de se apropriarem de parte do valor transacionado nesses mercados (Teece, 2018). Portanto, ter empresas de plataforma de sucesso em um território significa que elas provavelmente se tornarão um ponto gravitacional para a acumulação de capital. Isso se relaciona

1. Os autores expressam seu apreço pela atenta leitura e pelas valiosas sugestões e recomendações oferecidas pelos pareceristas Juliano Cappi, do Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br), e Alexandre Costa Barbosa, também do CGI.br, bem como pelas orientações fornecidas pelo organizador Luis Kubota, do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Quaisquer erros ou omissões encontrados no trabalho são de total responsabilidade dos autores, os quais reconhecem o dedicado trabalho de revisão gramatical realizado pela equipe editorial.

2. Uma versão preliminar dos resultados publicados neste capítulo, sob o título *The Brazilian digital platform economy: a first approach*, foi discutida no VII Encontro Nacional de Economia Indústrial e Inovação (Enei), realizado em 2023, em Porto Alegre. Disponível em: https://even3.blob.core.windows.net/anais/642988.pdf.

3. Pesquisador em nível de pós-doutorado no Interdisciplinary Research Hub on Digitalization and Society (iHub), Radboud University. Orcid: 0000-0002-9009-1203. *E-mail*: victont@gmail.com.

4. Analista em ciência e tecnologia no Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) do Ipea. Orcid: 0000-0002-3758-8413. *E-mail*: tulio.chiarini@ipea.gov.br.

5. Professor e pesquisador no Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Orcid: 0000-0002-7772-9313. *E-mail*: leonardocostaribeiro@gmail.com.

ao alerta de Arbache e Sousa (2019) de que participar de plataformas digitais como fornecedores ou consumidores confere apenas ganhos de primeiro grau, enquanto o controle de plataformas digitais proporciona ganhos de segundo grau. Essa capacidade de apropriação de valor tem levado algumas das principais empresas de plataforma a desenvolverem os seus próprios fundos corporativos de capital de risco (*venture capital*), tornando-se também dínamos de inovação e fontes de dinamismo econômico.

As empresas de plataforma investem boa parte de seu orçamento em atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) (Dolata e Schrape, 2022) em um momento histórico em que muitas empresas tradicionais da era industrial caminham para a financeirização em detrimento dos investimentos em P&D (Lazonick, 2007; Mazzucato, 2016). As empresas de plataforma produzem novas tecnologias e inovam por seu posicionamento privilegiado: ao comandarem fluxos de dados que passam por suas plataformas (Van Dijck, 2020), possuem aparato técnico e organizacional para estar na vanguarda da inovação digital (Nambisan, Wright e Feldman, 2019). As empresas de plataforma geram novos modelos de inteligência artificial, pois possuem bancos de dados proprietários gigantescos para seu treinamento. Também fornecem *feedback* aos seus modelos de negócios sobre os *insights* gerados por esses mesmos dados, gerando um ciclo virtuoso de crescimento e dominação do mercado (Rikap e Lundvall, 2020; 2021). Além disso, por fim, as empresas de plataforma moldam e transformam os comportamentos sociais (Zuboff, 2019).

Dito isso, é surpreendente que a literatura que busca coletar dados sobre a população de empresas de plataforma em uma determinada região seja escassa. Segundo Riso (2019), o único documento que buscou mapear geográfica e setorialmente a distribuição da economia das plataformas digitais foi Evans e Gawer (2016). Os autores contaram com conselhos de especialistas e pesquisas no banco de dados Quid para encontrar a população global de plataformas digitais. No entanto, eles restringiram a busca àquelas empresas cujo valor de mercado é de pelo menos US$ 1 bilhão. Foram identificadas 176 empresas de plataforma, das quais 82 estavam na Ásia e 64 na América do Norte. Vinte e sete delas eram baseadas na Europa, duas na América do Sul (uma no Brasil e uma na Argentina) e uma na África (África do Sul). Em termos de valor de mercado, a concentração se mantém e inclina-se para a América do Norte: 72% do valor de mercado da amostra pertenciam a plataformas estadunidenses e 22% a asiáticas.

Groen *et al*. (2021) produziram recentemente um censo das plataformas digitais que operam na União Europeia. Com foco exclusivo em plataformas que intermedeiam algum tipo de trabalho, os autores identificam 593 plataformas digitais (*gig work platform*). Além disso, com foco exclusivo na União Europeia,

Friederici, Reischauer e Lehdonvirta (2022) mapearam quatro setores específicos: *e-commerce*, entrega de alimentos (*food delivery*), saúde e redes sociais. Finalmente, Kässi, Lehdonvirta e Stephany (2021) mapearam 351 plataformas de trabalho ao redor do mundo em um esforço para calcular quantos trabalhadores *online* existem na economia de plataforma.

O pequeno número de plataformas e a extrema concentração geográfica identificadas por Evans e Gawer (2016) contrastam com a afirmação proposta por Cusumano, Gawer e Yoffie (2019) de que a década de 2010-2020 testemunhou uma fase de *platformania*, na qual as plataformas digitais se multiplicaram a ponto de se tornarem um modelo organizacional padrão Gawer (2021).

Buscando elucidar essa aparente contradição, Silva, Chiarini e Ribeiro (2022) realizaram um novo mapeamento de plataforma em nível global. Usando técnicas de processamento de linguagem natural, os autores identificaram mais de 3 mil empresas de plataforma em todo o mundo, a partir de dados da Orbis. Apesar de sua contribuição, eles também reconheceram que, devido às limitações do banco de dados, não mapearam empresas menores. Por exemplo, no Brasil foram identificadas apenas quatro empresas. Ou seja, as lacunas geográficas no Sul global permaneceram, e a distribuição das empresas de plataforma em nível global teve uma representação muito maior da América do Norte e da Ásia, especialmente dos Estados Unidos e da China.

Dada essa lacuna na literatura, a evidência anedótica de que existe um crescimento consistente no volume de empresas de plataforma no Sul global persiste, mas sem uma verificação empírica e sistemática desse fenômeno. Portanto, a questão abordada neste capítulo é a seguinte: o Brasil aderiu à década da *platformania* (2010-2020)? Em outras palavras, terá o setor privado nacional brasileiro seguido a tendência global de desenvolvimento das plataformas digitais? Em caso afirmativo, quais são as principais características dessas empresas de plataforma em termos de dimensão e setor? Como são distribuídas regionalmente no país? Como são financiadas?

Com base em Silva, Chiarini e Ribeiro (2022), este capítulo replica a metodologia dos autores, adotando, contudo, uma base de dados diferente, que abrange *startups*: a Crunchbase. Vários acadêmicos têm demonstrado interesse em avaliar o potencial dessa base de dados para investigação econômica e de gestão (Dalle, Besten e Menoni, 2017; Besten, 2020), para explorar ecossistemas inovadores (Kemeny, Nathan e Almeer, 2017) e para catalogar plataformas de trabalho *online* (Kässi, Lehdonvirta e Stephany, 2021), no entanto, o seu pleno potencial está longe de se esgotar. A novidade para os estudiosos brasileiros é que essa é primeira vez que a Crunchbase é utilizada para investigar o fenômeno da economia das plataformas digitais no país.

Na seção seguinte, fazemos uma rápida incursão sobre as origens das plataformas digitais, e conceitos *lato* e *stricto sensu* sobre elas são propostos. Na seção 3, os métodos de investigação que incidem sobre o conjunto de dados utilizados são apresentados, assim como são identificadas as chamadas empresas de plataforma. Na seção 4, a análise descritiva é feita, e depois, na seção 5, é proposta uma discussão. Sempre que possível, empresas de plataforma são citadas para enriquecer a investigação. Contudo, não mergulhamos nas suas características, uma vez que não é o objetivo aqui apresentar qualquer estudo de caso em profundidade. Finalmente, na última seção, algumas observações finais são apresentadas, afirmando que a economia da plataforma digital é um desafio para investigadores, formuladores de políticas públicas e reguladores, merecendo, portanto, estudo sistêmico e sistematizado por parte de economistas e outros cientistas sociais. No apêndice (quadro A.1), é fornecida uma lista de todas as empresas de plataforma brasileiras citadas ao longo do documento com *links* para os seus *websites/apps*.

2 PLATAFORMAS DIGITAIS E ECONOMIA DE PLATAFORMAS

2.1 Plataformas digitais: origens

De uma perspectiva geral, ou *lato sensu*, as plataformas digitais são redes orquestradas por um controlador, que pode ser uma empresa privada ou qualquer outra organização, tal como o Estado ou mesmo comunidades acadêmicas (box 1, por exemplo). Compreender as plataformas digitais como um tipo de rede gerida centralmente ou como um ponto de fricção na rede (Cohen, 2019) permite compreender a sua evolução ao longo do tempo. Afinal, se nos anos 1990 a "sociedade em rede" era uma discussão central (Castells, 1996; Santos, 1996), duas décadas mais tarde há debates sobre a "sociedade das plataformas" (Van Dijck, Poell e Waal, 2018).

A sociedade em rede diz respeito à morfologia da sociedade, ou seja, à forma predominante de organização social que ocupa espaços econômicos e culturais. Segundo Castells (1996), a organização social assumiria a forma de redes para a realização de atividades econômicas e culturais. No entanto, nos anos 1990, ainda não era clara a forma específica que essas redes assumiriam. Havia uma certa glorificação da horizontalidade permitida por ela. Contudo, duas décadas mais tarde, tornou-se mais evidente para os pesquisadores que as redes estavam sendo hierarquizadas (Van Dijck, Poell e Waal, 2018) por orquestradores (Parker, Van Alstyne e Choudary, 2016), também chamados *matchmakers* (Evans e Schmalensee, 2016), ou simplesmente plataformas digitais.

BOX 1
Plataformas digitais controladas pela comunidade acadêmica

Os anos 1980 marcaram o início de um processo lento de fragmentação de infraestruturas acadêmicas de publicação/divulgação tradicionais. Esse processo foi duplo: por um lado, observou-se a obsolescência das estruturas convencionais (por exemplo, periódicos impressos); de outro, novas entidades *online* começaram a surgir – repositórios, bibliotecas digitais, repositórios institucionais, plataformas de gerenciamento de conteúdo, protocolos abertos, agregação de metadados.

Esse movimento foi inicialmente impulsionado pela própria comunidade acadêmica a partir da criação da *world wide web* (www), dentro do Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (CERN), com o objetivo de facilitar a comunicação e a disseminação científicas. A *world wide web* reformulou drasticamente a forma como a produção científica era armazenada e compartilhada, permitindo que as comunidades de pesquisa criassem suas plataformas digitais. Foi o caso do físico Paul Ginsparg, que desenvolveu um repositório acadêmico *online*, o ArXiv, em 1991.

O ArXiv foi disruptivo e se tornou modelo para outras áreas do conhecimento. Em 1993, foi criado o NetEc – um *site* para melhorar a comunicação da pesquisa em economia –, que em 1997 se tornou o RePEc, um repositório descentralizado de artigos científicos na área. Outro exemplo foi a iniciativa e-biomed, que buscou formas de atualizar a divulgação de resultados em ciências da vida. Os resultados do e-biomed agora são PubMedCentral e PLoS, centros essenciais de ciência aberta. Outras iniciativas foram florescendo em todo o mundo, como o desenvolvimento da rede de dados geológicos e ambientais (Pangea) em 1993, na Alemanha. Além de repositórios e arquivos, a comunidade científica também desenvolveu as chamadas plataformas de ciência cidadã (*citizen science platforms*) para engajar cidadãos comuns em práticas científicas. A primeira foi a Zooniverse (antes conhecida por Galaxy Zoo), lançada em 2007.

Fonte: Silva e Chiarini (2023).
Elaboração dos autores.

Nessa forma particular de rede, pelo menos dois tipos de organizações diferem na sua posição (centralidade) e natureza: controladores e participantes. Os primeiros podem ser uma empresa privada ou pública – ou uma cooperativa –, e os segundos podem ser outras empresas ou pessoas que transacionem bens ou serviços (Kenney e Zysman, 2016). A sua forma genérica (arquitetura) é a de um centro estável com sua periferia variável. Os controladores são responsáveis por controlar e "legislar" sobre o ambiente virtual fornecido pela plataforma. Essa "legislação" ocorre tanto explicitamente, por meio de termos de serviço/utilização, como implicitamente, por códigos definidos unilateralmente pelos controladores. Os participantes aderem à plataforma digital por inúmeras razões: sociais, financeiras, culturais. No entanto, em geral, a sua participação é restrita às formas definidas pelo controlador. Em outras palavras, a plataforma digital é uma rede privada, com regras definidas unilateralmente e controlada pela chamada empresa-plataforma (Lehdonvirta, 2022).

Embora a literatura que busca explicar a transição da sociedade da rede para a sociedade da plataforma seja ainda incipiente, existem duas formas de iniciar uma possível exploração: uma econômica e outra sociológica. A explicação econômica se relaciona à capacidade de acumulação em um ambiente descentralizado de abundância digital: a centralização do controle sobre a rede torna possível configurá-la de forma adequada para a exploração comercial. Em outras palavras, a "plataformização" das redes torna possível o capitalismo na era digital. Mansell e Steinmueller (2020) mencionam como a abundância de redes na internet constituiu um obstáculo à acumulação de capital e que a formação de silos e de redes muradas, ou seja, plataformas digitais, permitiu a acomodação tecnológica

às necessidades do modo de produção. Nos anos 1990 houve exemplos de como os meios de comunicação social e o comércio *online* (*e-commerce*) utilizavam modelos de plataformas.

Além disso, Lehdonvirta (2022) oferece uma interpretação sociológica do surgimento do que ele intitula "impérios das nuvens" (*cloud empires*) ao considerar a necessidade de instituições moderadoras que pudessem proporcionar confiança e previsibilidade nas interações virtuais de mercado. Segundo o autor, os mercados relativamente anárquicos da internet no final dos anos 1980 e início dos anos 1990 eram um tanto quanto horizontais e livres, mas sofriam de várias limitações. Especialmente quando o número de usuários aumentou, a falta de governança levou à deterioração de tais mercados devido à fraude e a comportamentos inadequados que nenhuma autoridade controlava. Assim, alguns empresários perceberam que podiam trazer ordem aos mercados *online* e lançaram empreendimentos como o eBay.com e a Amazon.com. Os modelos funcionaram, com a criação de mecanismos de gestão de reputação *online* e termos de uso. Ao organizar e moderar a internet, eBay e Amazon permitiram transações de valor e o crescimento e florescimento desses mercados; em contrapartida, o que era um *locus* horizontal passou a ficar marcado por oligopólios de empresas que controlam as plataformas digitais, as quais foram, e continuam sendo, capazes de legislar sem serem eleitas em vários aspectos de novas interações e transações diárias.

Tendo em conta o processo histórico apresentado de forma bastante simplificada, é necessário posicionar as plataformas digitais de forma analítica e conceitual. Ainda persiste certa confusão na literatura, que associa plataformas digitais às novas tecnologias. Segundo Silva, Bonacelli e Pacheco (2020), a economia de plataforma se baseia em três pilares tecnológicos: grande volume de dados (*big data*), inteligência artificial e computação em nuvem (*cloud computing*) (box 2). Embora utilizem essas tecnologias, as plataformas digitais não são tecnologias em si mesmas.

Assim sendo, as plataformas digitais podem ser entendidas como um elemento organizacional ou mesmo morfológico (Castells, 1996; 2009), fundamental para o novo paradigma tecnoeconômico e digital. Essa conceitualização está alinhada com as perspectivas de que as plataformas são uma forma "metaorganizacional" (Gawer, 2014), um novo modelo organizacional padrão da economia digital (Gawer, 2021), que fornece novas normas e instituições (Lehdonvirta, 2022) e uma nova forma de organização empresarial (Frenken e Fuenfschilling, 2020; Dolata e Schrape, 2022). Kenney e Zysman (2020, p. 1) afirmam que "as plataformas são uma nova forma organizacional baseada numa relação entre a plataforma e o ecossistema de empresas dependentes da plataforma e os usuários que interagem e transacionam através dela". Existem muitas empresas privadas que controlam plataformas digitais, mas há outras que são controladas por outras instituições, como as científicas (box 1).

BOX 2
O pilar tecnológico que sustenta as plataformas digitais

Enquanto *big data* se refere à enorme quantidade de dados disponíveis, *cloud computing* se refere à democratização do poder de computação para empresas que, sem um grande investimento em tecnologias da informação e comunicação, podem utilizar esta ferramenta remotamente. Finalmente, a inteligência artificial criou mecanismos para transformar dados em valor de uma forma mais automatizada (gerando previsões, personalização e *analytics*). Uma das tendências que essas três tecnologias geram quando combinadas é a "platformização", a organização da atividade socioeconômica em torno de plataformas digitais. Juntamente com a "algoritmização" e a digitalização, essas três tendências, ou fluxos de inovação, formam um sistema interdependente. Enfatizar a sua interdependência tem implicações importantes: a ausência de um desses elementos pode criar obstáculos ao desenvolvimento dos outros dois fluxos. Por exemplo, no setor industrial, a escassez de plataformas digitais industriais – ao contrário do setor do consumo – torna mais difícil a captura de dados de um sistema industrial. Por sua vez, a indisponibilidade de dados dificulta o desenvolvimento de algoritmos mais eficientes no setor.

Fonte: Silva, Bonacelli e Pacheco (2020).
Elaboração dos autores.

Por fim, deve ser feita uma diferenciação entre plataformas digitais e empresas de plataforma. As plataformas digitais são "espaços sociais, de mercado, de consumo ou de serviços estruturados tecnologicamente, nos quais os atores sociais interagem com base em regras detalhadas e tecnicamente definidas" (Dolata e Schrape, 2022, p. 5, tradução nossa). Como mostra o box 1, as organizações científicas, ou mesmo o Estado, também podem controlar e operacionalizar plataformas digitais. Em contrapartida, as empresas de plataforma são organizações capitalistas tradicionais, portanto "não idênticas às suas plataformas, mas que representam os *loci* organizados de tomada de decisões estratégicas e gestão das plataformas que possuem" (Dolata e Schrape, 2022, p. 10, tradução nossa). Por exemplo, isso significa que a Meta é uma empresa, uma corporação, tal como as empresas de cem anos atrás. A inovação organizacional está na estrutura organizacional que a Meta controla: um espaço de serviço digital mediado pelas suas plataformas, como Facebook ou Instagram. Essa inovação organizacional é um forte candidato a um modelo interorganizacional da era digital: "Se a revolução industrial foi organizada em torno da fábrica, as mudanças de hoje estão organizadas em torno dessas plataformas digitais" (Kenney e Zysman, 2016, p. 62, tradução nossa).

2.2 Funcionalidades das plataformas digitais e a lógica econômica

Na subseção 2.1 foi apresentada uma definição *lato sensu* de plataformas digitais. Nesta subseção, por sua vez, propomos uma definição mais estrita para orientar o esforço de investigação presente neste capítulo. "Uma plataforma é uma entidade (*entity*) que reúne agentes econômicos e gera ativamente os efeitos de rede entre eles" (Belleflamme e Peitz, 2021, p. 29, tradução nossa). Essa interpretação realça duas características essenciais. Primeiro, o objetivo de conectar e permitir interações e transações entre as partes (conectividade). Em segundo lugar, os efeitos de rede, que se relacionam com o valor de uma rede associada com a sua dimensão: o impacto que um usuário adicional de um produto ou serviço, ou um

participante adicional a alguma interação, tem sobre o valor que outros usuários ou participantes atribuem a esse produto, serviço ou interação (Belleflamme e Peitz, 2021). Os efeitos de rede são importantes porque impulsionam fenômenos fundamentais relacionados às plataformas digitais, tais como os *loops* de atração, as dinâmicas dos vencedores (*winner-takes-all dynamics*) e as estratégias de crescimento. Essas duas características (conectividade e efeitos de rede) serão essenciais para a seleção das empresas brasileiras de plataformas digitais, como será apresentado na próxima seção.

Finalmente, é necessário chamar a atenção para a forma como Belleflamme e Peitz (2021) se referem às plataformas: "entidades". Os autores, no entanto, não especificam que tipo de entidades seriam. Falta clareza na distinção entre plataformas digitais como estruturas virtuais de governança e plataformas como empresas *per se*. As plataformas digitais são, como apresentado na subseção 2.1, uma "estrutura virtual" que pode ser controlada por corporações (privadas), Estados ou comunidades acadêmicas. Em outras palavras, é necessário distinguir entre essa estrutura interorganizacional e as organizações que a controlam ou participam dela (Dolata e Schrape, 2022). Neste capítulo, são consideradas empresas de plataforma aquelas que controlam plataformas digitais. Por conseguinte, a unidade de análise é a empresa. O ponto comum entre todas essas empresas é que elas são as controladoras de uma plataforma digital, mas podem igualmente atuar em outras atividades. Vale ainda ressaltar que as empresas de plataforma apresentam capitalizações de mercado crescentes, os quais se "descolam" das de empresas tradicionais (box 3).

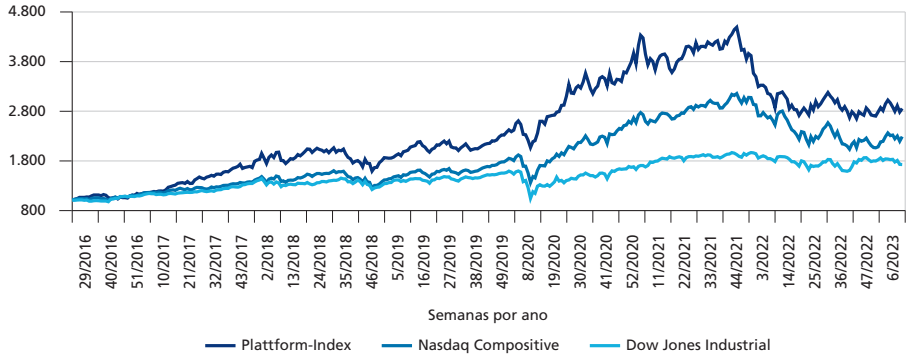
BOX 3
Valor de mercado das empresas de plataforma

De acordo com dados da *Forbes*, entre as principais empresas de plataforma globais, a Apple é a que possui maior capitalização de mercado (US$ 2,64 trilhões), seguida de Microsoft (US$ 2,05 trilhões), Alphabet (US$ 1,58 trilhão), Amazon (US$ 1,46 trilhão) e Meta (US$ 499 bilhões), o famoso grupo recorrentemente chamado de GAFAM. Em perspectiva, o valor de mercado das plataformas digitais supera o de empresas de setores tradicionais relacionados a petróleo e automóveis, como Exxon Mobil (avaliada em US$ 359 bilhões), Toyota Motors (US$ 237 bilhões) e Shell (US$ 211 bilhões), ultrapassando, inclusive, o de empresas farmacêuticas, como Pfizer (US$ 271 bilhões) e Merck (US$ 213 bilhões), e do setor financeiro, como JPMorgan (US$ 374 bilhões), Bank of America (US$ 303 bilhões), Goldman Sachs (US$ 109 bilhões) e Citigroup (US$ 101 bilhões). Os valores de mercado da Petrobras (US$ 83 bilhões), da Vale (US$ 82 bilhões) e do Itaú (US$ 52 bilhões) – empresas brasileiras mais bem posicionadas no ranqueamento da Forbes – estão atrás, por exemplo, da Netflix (US$ 95 bilhões) e muito atrás do GAFAM. A única empresa de plataforma localizada na América Latina e que consta na lista da Forbes das duzentas empresas globais é a Mercado Libre (ou Mercado Livre), cujo valor soma US$ 49 bilhões.

De fato, o desempenho médio, em termos de valor de mercado, das grandes empresas controladoras de plataformas digitais tem sido superior ao Dow Jones Industrial e ao Nasdaq Composite desde pelo menos meados de 2017 e atinge a maior diferença em meados de 2021. O gráfico 1 apresenta a evolução semanal desses números-índice em comparação com o índice-plataforma (*platform-index*) – desenvolvido pela DEIX Digital Economy Investments, que compreende uma seleção de quinze ações de empresas controladoras de plataformas digitais – e mostra que na 46ª semana de 2021 a diferença entre o índice-plataforma e o índice Nasdaq foi de 1.340 pontos.

Fonte: Forbes e DEIX Digital Economy Investments. Disponíveis em: https://www.forbes.com/lists/global2000/ e https://www.theoriginalplatformfund.com/.
Elaboração dos autores.

GRÁFICO 1
Números-índice selecionados: 29ª semana de 2016 à 7ª semana de 2023



Fonte: *Forbes* e DEIX Digital Economy Investments. Disponível em: https://www.theoriginalplatformfund.com/.
Elaboração dos autores.
Obs.: Ano-base (= 1.000): 29ª semana de 2016.

3 METODOLOGIA

3.1 Base de dados

Os dados foram coletados da Crunchbase,[6] que reúne informações de mais de 2 milhões de entidades cadastradas. O banco de dados, criado em 2007, vem ampliando seu escopo nos últimos anos; no entanto, sua cobertura não está claramente definida e pode variar entre países e setores (Dalle, Besten e Menoni, 2017). As informações sobre empresas compreendem seu tamanho, localização, função principal, situação (ativa ou fechada), tipo (com ou sem fins lucrativos), data de fundação, setor, faixa de receita estimada e breve descrição.

A Crunchbase adquire seus dados de três fontes, conforme a seguir.

1) A rede de investidores, que compreende mais de 4 mil empresas de investimento globais, fornece atualizações mensais espontâneas.

2) Colaboradores ativos da comunidade, como executivos, empreendedores e investidores, contribuem para as páginas de perfil das empresas.

3) Algoritmos de inteligência artificial que validam a precisão dos dados, verificam anomalias e alertam a equipe de ciência de dados da Crunchbase sobre informações conflitantes. Com dados internos, os analistas da Crunchbase fornecem validação e curadoria manuais, analisando as principais interconexões para desenvolver algoritmos e fornecer informações. Em outras palavras, a Crunchbase emprega

6. A coleta ocorreu em 10 de outubro de 2022.

uma abordagem de *crowdsourcing* em parte de sua coleta de dados e possui mecanismos para verificar sua precisão por meio de algoritmos, que examinam inconsistências e alertam a equipe da Crunchbase sobre eventuais discrepâncias (Ferrati e Muffatto, 2020).

Para demonstrar as potencialidades e limitações da base de dados, apresentamos no quadro 1 uma seleção de três empresas brasileiras: Loggi, Hotel Urbano e QuintoAndar. É possível observar que não há padrão para o preenchimento das informações por parte das empresas; portanto, a qualidade varia. Em alguns casos, há muitos detalhes; e em outros, a descrição é limitada, descrevendo com pouca precisão os produtos/serviços que a empresa oferece. No caso da Loggi, a descrição informa que a empresa "está conectando o Brasil, usando a tecnologia para reinventar a logística com uma rede rápida, econômica e confiável em *e-commerce*, entrega de alimentos no atacado e serviços de correio"; e no caso da QuintoAndar, conta que "é uma plataforma que simplifica o aluguel de imóveis residenciais para proprietários e locatários".

QUADRO 1
Exemplos de informações disponíveis na Crunchbase

Nome	Loggi	Hotel Urbano	QuintoAndar
Sobre	É uma empresa de entregas que usa a tecnologia para conectar seus clientes a uma rede de entregadores.[1]	Também conhecido como Hurb, é uma plataforma *online* que permite que os viajantes encontrem e reservem acomodações e atividades.[2]	É uma plataforma que simplifica o aluguel de imóveis residenciais para locadores e locatários.[3]
Localização	São Paulo (São Paulo)	Rio de Janeiro (Rio de Janeiro)	São Paulo (São Paulo)
Número de empregados	1.001 a 5.000	501 a 1.000	1.001 a 5.000
Detalhes			
Indústrias	Serviço de entrega; internet; logística; gerenciamento da cadeia de suprimentos.[4]	Hospitalidade; serviços de informação; internet; portais *online*; reservas; operadora de turismo; turismo; viagens; acomodações de viagem; agência de viagens.[5]	Internet; administração de propriedades; imóveis; aluguel; *software*.[6]
Data de fundação	20/6/2013	2011	2012
Status de operação	Ativa	Ativa	Ativa
Último tipo de *funding*	Série F	Série E	Série E
Também conhecida por	-	Hurb	-
Nome legal	Loggi Tecnologia Ltda.	Hurb Technologies	QuintoAndar Serviços Imobiliários Ltda..
Faixa de renda estimada	-	US$ 50 milhões a US$ 100 milhões	US$ 1 bilhão a US$ 10 bilhões

(Continua)

(Continuação)

Nome	Loggi	Hotel Urbano	QuintoAndar
Descrição completa	A Loggi está conectando o Brasil, usando a tecnologia para reinventar a logística com uma rede rápida, econômica e confiável em comércio eletrônico, entrega de alimentos no atacado e serviços de *courier*. A Loggi está desbloqueando o crescimento da economia sob demanda, apoiando um novo comércio para a grande população urbana e jovem do Brasil. A empresa foi fundada em 2013 e está sediada em São Paulo, Brasil.[7]	O Hotel Urbano é uma plataforma *online* que permite aos viajantes encontrar e reservar acomodações e atividades. Promove destinos turísticos e auxilia o desenvolvimento de empreendedores no Brasil e na América Latina. Os usuários têm acesso a pacotes de viagem, hotéis, espaços para alugar, cruzeiros e muito mais. O Hotel Urbano tem um público de viajantes no Facebook com mais de 12 milhões de fãs, a maior página de fãs na rede social entre as empresas jovens da internet em todo o mundo, bem como no segmento do mercado de viagens em todo o mundo. O Hotel Urbano foi lançado por José Eduardo Mendes e João Ricardo Mendes em janeiro de 2011 e é operado a partir do Rio de Janeiro, Brasil.[8]	O QuintoAndar é uma plataforma que simplifica o aluguel de imóveis residenciais para locadores e locatários. Com o QuintoAndar, os clientes podem trabalhar com uma equipe de primeira linha que utiliza as melhores práticas e as melhores ferramentas, fazer parte de um projeto de alto impacto que afetará a vida de muitas pessoas, ter autonomia para tomar decisões sem reuniões intermináveis e trabalhar em um ambiente informal e com hierarquia horizontal.[9]

Fonte: Crunchbase.
Elaboração dos autores.
Notas: [1] *Loggi is a delivery company that uses technology to link its customers to a network of couriers.*
[2] *Hotel Urbano, a.k.a Hurb, is an online platform that enables travelers to find and reserve accommodation and activities.*
[3] *QuintoAndar is a platform that simplifies the rental of residential real estate for landlords and renters.*
[4] *Delivery service; internet; logistics; supply chain management.*
[5] *Hospitality; information services; internet; online portals; reservations; tour operator; tourism; travel; travel accommodations; travel agency.*
[6] *Internet; property management; real estate; rental; software.*
[7] *Loggi is connecting Brazil, using technology to reinvent logistics with a fast, cost-efficient, and reliable network across e-commerce, wholesale food delivery, and courier services. Loggi is unlocking the growth of the on-demand economy, supporting new commerce for Brazil's large, young, urban population. The company was founded in 2013 and is based in São Paulo, Brazil.*
[8] *Hotel Urbano is an online platform that enables travelers to find and reserve accommodation and activities. It promotes tourist destinations, and assists the development of entrepreneurs in Brazil and Latam. Users have access to travel packages, hotels, spaces for rent, cruises, and more. Hotel Urbano has an audience of travelers on Facebook with over 12 million fans, the largest fan page on the social network among young internet companies all around the world as well in the travel market segment worldwide. Hotel Urbano was launched by José Eduardo Mendes and João Ricardo Mendes in January 2011 and is operated from Rio de Janeiro, Brazil.*
[9] *QuintoAndar is a platform that simplifies the rental of residential real estate for landlords and renters. With QuintoAndar, customers can work with a top-notch team that uses the best practices and best tools, be part of a high-impact project that will affect many people's lives, have autonomy to make decisions with no endless meetings, and work in an informal environment and horizontal hierarchy*.

3.2 Operacionalização da busca

3.2.1 Identificando as empresas controladoras de plataformas digitais

Para a identificação das empresas na Crunchbase, que conta com mais de 28 mil empresas sediadas no Brasil, foi adotada a estratégia de busca proposta por Silva, Chiarini e Ribeiro (2022). Foram realizadas modificações na lista proposta pelos autores, acrescentando novos termos, uma vez que as descrições fornecidas pelas empresas na Crunchbase são menos extensas em comparação com a base de dados Orbis, usada por eles. Dessa forma, é possível realizar uma triagem das empresas que produzem, comercializam ou utilizam os bens e serviços apresentados no quadro 2.

QUADRO 2
Lista de termos em inglês usados para identificar potenciais empresas controladoras de plataformas digitais

application software[1]	*internet search solution*	*online gaming*	*social media (platform)*[2]
delivery platform[1]	*internet shopping*	*online marketplace*	*social media content*
digital marketplace	*marketplace platform*	*online platform*	*social media management*
digital payment	*mobile game*	*online reservation*	*social media marketing*
digital platform	*mobile payment*	*online social media*	*social media strategy*
e-commerce market[1]	*mobile platform*	*open-source platform*[1]	*social network*
e-payment	*on demand economy*[1]	*payment platform*	*social networking services*
innovation platform	*online advertising service*	*search engine*	*software platform*
internet marketplace	*online booking*	*serverless computing*	*transaction platform*
internet platform	*online game*	*services marketplace*[1]	*transactional marketplace*[1]

Fonte: Silva, Chiarini e Ribeiro (2022, p. 20).
Notas: [1] Palavras-chave incluídas nesta rodada para capturar as especificidades da Crunchbase.
[2] O termo *platform* foi incluído nessa rodada.

Utilizando mais uma vez o quadro 1 como referência, observa-se que a empresa Loggi foi identificada na Crunchbase por meio do termo *on-demand economy*, enquanto o Hotel Urbano foi identificado pelas palavras-chave *online platform* e *social network*. Por outro lado, não foi possível, a partir da busca sistêmica, identificar a plataforma QuintoAndar, uma vez que nenhuma das palavras-chave presentes no quadro 2 correspondiam às informações disponíveis. Esses exemplos ilustram as limitações do banco de dados utilizado. Embora tenham sido identificadas 1.638 empresas, isto é, 6% do total catalogado na base de dados com sede no Brasil, outras empresas relevantes na Economia Brasileira de Plataformas Digitais, como o QuintoAndar, não foram encontradas. Portanto, o método empregado está subestimando a identificação de empresas.

3.2.2 Validação das empresas identificadas pelo método sistemático

Entre as 1.638 empresas identificadas de forma sistemática, trinta foram identificadas erroneamente como sediadas no Brasil, e 294 e tinham informações insuficientes (nenhuma descrição, nenhum *site*/aplicativo informado ou *site*/aplicativo não ativo). Assim, o conjunto foi reduzido para 1.314 empresas. Para verificar a pertinência de cada uma delas, dois autores leram independentemente as descrições e visitaram os *sites*/aplicativos de todas elas, fazendo uma análise de conteúdo. Os autores usaram o mesmo esquema para codificar as empresas, a fim de verificar se aquelas que são potenciais controladoras de plataformas digitais apresentavam os dois elementos essenciais mencionados na subseção 2.2, a saber: i) missão de conectar diferentes grupos ou indivíduos (conectividade); e ii) efeitos de rede.

Julgar se o modelo de negócios das 1.314 empresas cumprem os dois critérios anteriores apenas por essas duas fontes de dados (descrição presente no Crunchbase e consulta de cada *site*/aplicativo) foi uma ação fundamentada nos exemplos de Belleflamme e Peitz (2021) do que constitui uma plataforma e do que não se enquadra no conceito (quadro 3).

A confiabilidade da intercodificação – ou seja, "o nível de concordância entre dois ou mais codificadores independentes quando eles usam o mesmo esquema de codificação para avaliar características de mensagens ou artefatos de comunicação" (Mao, 2017, p. 741, tradução nossa) – foi verificada. O nível de concordância entre os codificadores foi calculado por meio do Índice de Confiabilidade de Intercodificação de Holsti (Holsti's Intercoder Reliability Index)[7] (tabela 1) e atingiu 0,83, nível de concordância aceito na literatura (acima de 80%). Em seguida, os codificadores alinharam novamente critérios e conceitos e realizaram uma nova rodada de codificação daquelas empresas em que houve discordância.

7. "Nesse método, se dois codificadores independentemente codificam um conjunto de documentos usando o mesmo esquema de codificação, o coeficiente de confiabilidade desses dois codificadores é a porcentagem de acordos do número total de decisões de codificação feitas pelos dois codificadores. A seguinte fórmula pode ser usada para calcular a confiabilidade de intercodificação: Índice de Confiabilidade de Intercodificação = 2 x M / (N1 + N2)". (Mao, 2017, p. 741, tradução nossa). Sendo *M* o número total de decisões que os dois codificadores concordam; e *N1* e *N2*, os números de decisões tomadas pelo codificador 1 e pelo codificador 2, respectivamente. Como consequência, a confiabilidade de intercodificação varia de 0 (nenhuma concordância) a 1 (perfeita concordância). "Em geral, uma concordância percentual de Holsti superior a 0,9 é considerada um alto nível de confiabilidade de intercodificação, e uma concordância percentual inferior a 0,8 é considerada duvidosamente confiável" (Mao, 2017, p. 743, tradução nossa).

QUADRO 3
É uma plataforma ou não?

	Efeitos de rede estão presentes?	Efeitos de rede são administrados?	É uma plataforma?
Facebook	Sim (intragrupos)	Sim	Sim
Wikipédia	Sim (intragrupos)	Sim	Sim
Uber	Sim (entre grupos)	Sim	Sim
Esperanto	Sim (intragrupos)	Não	Não
Aldi	Não	Não	Não
Tesco	Sim (entre grupos)	Sim?	Sim?
Blog individual	Não	Não	Não
Blog de grupo ou *blog* financiado por anúncios	Sim (entre grupos)	Sim	Sim
Postos de gasolina	Não	Não	Não
Tabeliães (notários)	Não	Não	Não

Fonte: Belleflamme e Peitz (2021, p. 35).

TABELA 1
Comparação entre os codificadores

	Codificador 1	Codificador 2	Número de (des)acordos
É uma plataforma digital?	Sim	Sim	497
	Não	Não	597
	Sim	Não	129
	Não	Sim	91
Decisões totais	**-**	**-**	**1.314**

Elaboração dos autores.

Por fim, os autores chegaram a uma lista final de 556 empresas que compõem o grupo de empresas brasileiras que controlam plataformas digitais, representando 42% do total de empresas rastreadas seguindo a estratégia apresentada anteriormente.[8]

4 A ECONOMIA BRASILEIRA DE PLATAFORMAS DIGITAIS

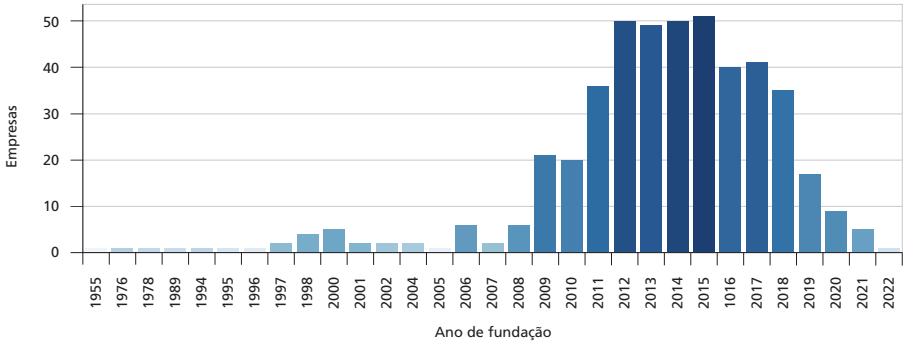
4.1 Novas e pequenas

O gráfico 2 apresenta a dispersão do ano de fundação das empresas. A grande maioria (82%) foi fundada a partir de 2011, seguindo o movimento mundial de

8. Não foi considerado neste estudo o *status* das firmas, ou seja, se estão ativas ou fechadas. Essa decisão foi tomada porque, caso fossem consideradas apenas as empresas ativas (294 no total), plataformas relevantes para o entendimento da economia brasileira de plataformas digitais seriam "perdidas". Infelizmente, a Crunchbase fornece datas de fusão, aquisição e fechamento para apenas quatorze das 262 empresas que não estão ativas.

"plataformização" liderado pelas empresas estadunidenses, que, hoje, conforme apontado no box 3, possuem o maior valor de mercado. Também é perceptível o número de empresas cuja fundação remonta à era pré-internet. Embora inicialmente não se dedicassem a serviços digitais, essas empresas transformaram seus modelos de negócios para incluir serviços de plataforma em algum momento.

GRÁFICO 2
Quantidade de empresas de plataforma por ano de fundação



Fonte: Crunchbase.
Elaboração dos autores.

As empresas incumbentes foram fundadas na fase pré-internet e passaram a oferecer serviços digitais com o *boom* digital, podendo ser encontradas, por exemplo, no setor imobiliário (como a Garcia Imóveis), de cooperativas (por exemplo, Veiling) ou audiovisual (como Telecine – box 4).

Apesar dos exemplos anteriores, as empresas de plataforma brasileiras não são simplesmente resultado de mudanças nas suas estratégias como Garcia Imóveis, Veiling ou Telecine. De 2010 em diante, novas empresas adotam o modelo de plataforma. Essas novas empresas buscam conectar grupos distintos e criar valor ao atrair novos participantes para o espaço digital que controlam. Foi o caso das já nascidas digitais e "plataformizadas" Imóvelweb (fundada em 1999), VivaReal (fundada em 2009), Loft (fundada em 2018) e EmCasa (fundada em 2018), todas do setor imobiliário. Isso dá uma ideia da revolução no setor de serviços imobiliários, quando incumbentes tiveram que mudar seus modelos de negócios à medida que empresas baseadas em modelos "plataformizados" ganhavam participação de mercado.

BOX 4
Empresas de plataformas brasileiras de *streaming* de vídeo

Embora as plataformas domésticas pareçam estar longe de se tornarem ameaças reais para a dominação da Netflix ou da Amazon Prime Video, é importante entender como essas empresas estão se estruturando e seus modelos de negócios. Embora a competição por conteúdo pareça difícil, já que a maioria dos mais conhecidos serviços de *streaming* faz parte de grandes conglomerados de mídia, como Disney+, HBO Max e Globoplay, ou até plataformas maiores, como é o caso da Amazon Prime Video, as novas plataformas brasileiras tentam inovar explorando nichos de conteúdo e oferecendo serviços novos e integrados para os consumidores (Nova Filho, Chiarini e Marcato, 2023). A Filme Filme é um excelente exemplo de como as novas plataformas brasileiras estão se posicionando no mercado de *streaming* audiovisual. Fundada em 2020, a empresa tem uma estratégia focada na qualidade, em detrimento da quantidade, e oferece um modelo baseado em assinatura que se diferencia de grandes *players* internacionais, como a Netflix, pela curadoria de seu catálogo. A plataforma é dividida em três "salas de cinema digital" – filmes, documentários e curtas – e se posiciona como o primeiro serviço *streaming-to-earn* do mundo. Embora não seja uma regra, o catálogo da Filme Filme é composto principalmente por produções de mercados fora dos Estados Unidos, principalmente produções europeias, sugerindo que a plataforma busca atender a um nicho de consumidores que buscam conteúdo não convencional.

É justamente nessa área que a Filme Filme se caracteriza como uma plataforma em primeiro lugar, pois conecta produtoras e distribuidoras de filmes aos consumidores. A sua estratégia de aquisição e licenciamento visa a uma janela temporal mais curta, negociando geralmente direitos por alguns meses, ao contrário das plataformas de catálogos, que focam na aquisição de direitos por um período mais longo. Uma lição importante da Filme Filme é que a concorrência não se restringe a preço ou produto – nesse mercado, o catálogo de produções disponíveis –, mas abrange modelos de negócios, que podem buscar a criação de valor a partir dos dados do usuário e também podem encontrar forças competitivas dentro do próprio ecossistema da plataforma.

Elaboração dos autores.

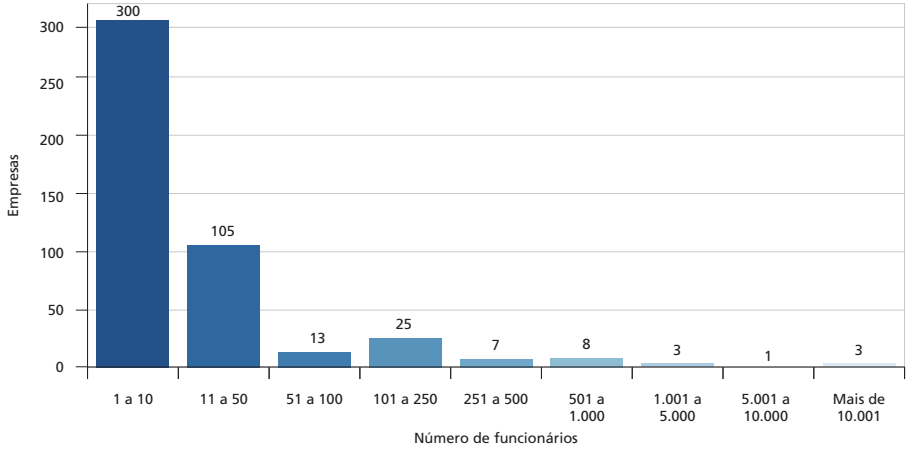
Outro exemplo é o iFood, empresa fundada em 2011. Por ter sido uma das primeiras empresas de plataforma no setor de entregas no país, conseguiu obter vantagens competitivas em relação aos seus principais concorrentes, inclusive estrangeiros que operam plataformas digitais como Rappi e Uber Eats, sendo que este último já saiu do mercado brasileiro. Isso não significa, porém, que outras empresas não foram estabelecidas antes do iFood, como a Aiqfome, fundada em 2008, em Maringá, mas que não conseguiu se estabelecer. Novos entrantes estão chegando ao mercado no setor de *delivery*: novos concorrentes diretos, como o Pede Pronto, fundado em 2020; novas plataformas locais, como o Flash Boy, em Santo Antônio de Jesus, na Bahia, em 2018, e o Rapidão App, em São José do Rio Preto, São Paulo, em 2019; e outros mais setoriais, como o Zé Delivery, plataforma *online* focada em bebidas alcoólicas e produtos associados, criada em 2016, e o Veggi, única plataforma de entrega de produtos veganos, fundada em 2020.[9]

Além de serem, em sua maioria, empresas novas, as plataformas brasileiras são pequenas considerando o número de funcionários diretos (gráfico 3). Quase 65% deles empregam entre um e dez trabalhadores, 22% entre onze e cinquenta pessoas e 13% mais de 51 funcionários. A Umatch, empresa de plataforma em estágio de financiamento *pre-seed* que possui uma plataforma de rede social exclusiva para alunos de pós-graduação, fundada em 2020, emprega entre uma e dez pessoas. A Conexa Saúde, plataforma digital que promove a conexão de pacientes e profissionais de saúde, lançada em 2017, emprega de onze a cinquenta funcionários. De acordo com a Crunchbase, o iFood é uma das empresas com maior

9. É necessário mencionar que algumas plataformas não foram capturadas pelo Crunchbase, como a Motoboy.app.

número de funcionários diretos (mais de 10 mil),[10] seguido por PagSeguro e B2W Digital (ambos variando de 5.001 a 10 mil) e MadeiraMadeira, Shopper, Loft e Loggi (todas variando de 1.001 a 5 mil funcionários).

GRÁFICO 3
Quantidade de empresas de plataforma por número de funcionários

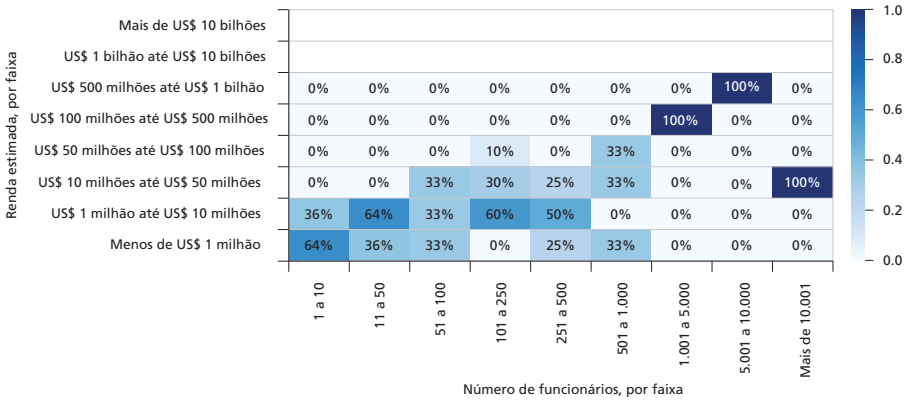


Fonte: Crunchbase.
Elaboração dos autores.
Obs.: O número de funcionários estava disponível para 81% das plataformas identificadas na Crunchbase.

Além de pequenas em número de funcionários, as empresas brasileiras de plataforma digital são pequenas em relação à faixa de faturamento. Das empresas com um a dez funcionários, 63% faturam menos de US$ 1 milhão por ano; e, das empresas na faixa de onze a cinquenta funcionários, 68% têm receita estimada entre US$ 1 milhão e US$ 10 milhões (gráfico 4). Um exemplo é o Singu (de onze a cinquenta funcionários), uma empresa de plataforma de serviços de beleza e bem-estar sob demanda, que permite que pessoas físicas encontrem e se conectem com profissionais do setor de beleza e bem-estar. Foi fundada em 2015, e sua receita estimada varia entre US$ 1 milhão e US$ 10 milhões anuais.

10. As informações disponíveis no *site* do iFood se referem a mais de 4 mil funcionários. Disponível em: https://institucional.ifood.com.br/ifood/.

GRÁFICO 4
Mapa de calor do percentual de empresas controladoras de plataformas digitais de acordo com a interseção entre número de funcionários e renda estimada



Fonte: Crunchbase.
Elaboração dos autores.

4.2 Distribuição setorial

Por não se restringirem a um setor específico, as empresas de plataforma são candidatas a "paradigma organizacional" (Gawer, 2021). No caso da economia brasileira de plataformas, cerca de 26% das empresas pertencem ao grupo comércio e compras[11] e quase 9%, o grupo comunidade e estilo de vida[12] (gráfico 5).

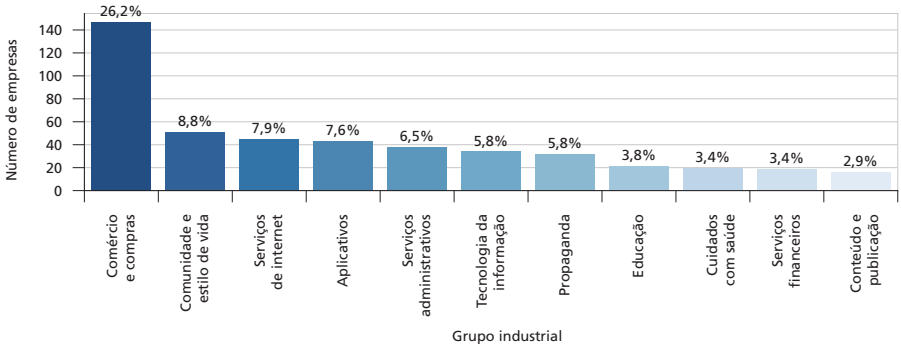
Um exemplo de empresa pertencente a comércio e compras é a B2W Digital, um conglomerado formado pelas Lojas Americanas – uma das mais tradicionais redes varejistas do país, fundada em 1929 no Rio de Janeiro, que conseguiu transformar seu modelo de negócios e lançar o *marketplace* Americanas.com – e pelas plataformas Submarino e Submarino Viagens.

A Drogarias Pacheco também fez uma transição para o mundo das plataformas digitais. Apesar de ainda ser uma drogaria convencional espalhada por diversas regiões do país, oferece um *marketplace* digital especializado em varejo farmacêutico cujas visitas mensais (incluindo acessos *desktop* e *mobile* ao *site*) giram em torno de 2,4 milhões.

11. Leilões, classificados, colecionáveis, avaliações de consumidores, cupons, comércio eletrônico, plataformas de comércio eletrônico, venda relâmpago, presente, cartão de presente, troca de presentes, registro de presentes, compra em grupo, compras locais, feito sob encomenda, mercado, leilões *online*, personalização, ponto de venda, comparação de preços, aluguel, varejo, tecnologia de varejo, compras, *shopping center*, compras sociais, artigos esportivos, vendas e concessões, artigos virtuais, atacado.

12. Adulto, bebê, *cannabis*, crianças, comunidades, namoro, idoso, família, funerais, humanitário, lazer, LGBT, estilo de vida, masculino, fóruns *online*, paternidade, animal de estimação, rede social privada, rede profissional, perguntas e respostas, religião, aposentadoria, indústria do sexo, tecnologia do sexo, social, empreendedorismo social, adolescentes, mundo virtual, casamento, feminino, jovens adultos.

GRÁFICO 5
Empresas de plataforma digitais por setor



Fonte: Crunchbase.
Elaboração dos autores.
Obs.: As empresas podem pertencer a mais de um setor.

Outro exemplo impressionante de comércio e compras é o extinto Peixe Urbano. Foi fundada em 2010 e era uma empresa de plataforma que permitia aos usuários encontrar e reservar ofertas em restaurantes, passagens aéreas, serviços de beleza, atividades de entretenimento e serviços comerciais de acordo com suas localidades e preferências. Seu sucesso poderia ser explicado não apenas pelos preços baixos dos cupons oferecidos, mas também pela curiosidade e pelo desejo dos consumidores de se sentirem elegantes e inseridos naquele então emergente contexto de consumo virtual (Câmara, 2015). O Peixe Urbano tinha 20 milhões de usuários cadastrados na plataforma e foi adquirido pela chinesa Baidu em 2014 por R$ 10 milhões.[13,14] Em 2017, foi vendida para a Mountain Nazca, empresa de capital de risco localizada no Chile (Brigatto, 2017), e não está mais operando.

Um exemplo do grupo comunidade e estilo de vida é a Dr. Cannabis, uma empresa de plataforma que conecta pessoas a médicos e profissionais que produzem, revendem e prescrevem canabinoides de forma legal. Foi fundada em 2017 e já captou R$ 2 milhões em duas rodadas de financiamento. Outra empresa do mesmo setor é a Job for Model, uma empresa de plataforma *freelancer* no setor de moda.

13. Disponível em: http://glo.bo/1sjW3FL.
14. O box 5 inclui mais exemplos de investimento das empresas de plataforma chinesas em empresas brasileiras.

BOX 5
***Venture capital* das grandes empresas de plataforma chinesas no Brasil**

O Brasil concentra 2% das empresas que receberam investimentos da Tencent, a maior empresa de plataforma da China. A Tencent investiu em seis empresas brasileiras até o momento: de corretoras de transporte de cargas ao setor imobiliário. Todas as empresas investidas pela Tencent estão localizadas em São Paulo, o epicentro da economia de plataformas no Brasil, como será visto nas próximas subseções. O primeiro investimento de risco da Tencent no Brasil foi na fintech Nubank, em 2018: US$ 200 milhões foram aportados em troca de 5% do controle da empresa. Hoje a sede da Nubank encontra-se nas Ilhas Cayman e a empresa possui capital aberto na New York Stock Exchange. Seu valor de mercado é estimado em US$ 30 bilhões, conforme dados da *Forbes*.

Desde então, outras empresas começaram a atrair *venture capital*, como a CargoX, fundada em 2013 e batizada de Uber dos Caminhões, por ter a missão de conectar caminhoneiros e cargas reunindo informações sobre 15 mil empresas que oferecem cargas a serem transportadas e 80 mil motoristas para entregá-las. Em 2021, fundiu-se com Fretebras e FretePago para formar a empresa Frete.com. A Tencent e o grupo japonês SoftBank são os principais investidores da CargoX.

No mesmo ano, QuintoAndar e Omie atraíram *venture capital* da Tencent (US$ 120 milhões e R$ 580 milhões, respectivamente). Outras duas empresas – Cora e Flash – também levantaram recursos da gigante chinesa. Os indicadores de crescimento dessas empresas brasileiras são um forte fator explicativo de elas terem se tornado alvos do *corporate venture capital* da Tencent: o Nubank tem mais de 70 milhões de clientes cadastrados na plataforma; o QuintoAndar viabiliza mais de 6 mil novos contratos por mês e já está presente em mais de trinta grandes cidades brasileiras. Segundo o CEO da empresa, "[Com o apoio da Tencent,] acreditamos que, criando novos meios de pagamento, será possível destravar o mercado". Não é difícil entender que a Tencent tem interesse em capacitar sua plataforma WeChat Pay e competir por fatias de mercado no Brasil.

Fonte: Chiarini, Prates e Ribeiro (2023).
Elaboração dos autores.

4.3 Concentração nas regiões Sul e Sudeste

As regiões Sul e Sudeste do país concentram 86% das empresas brasileiras de plataformas digitais, que estão espalhadas por todas as regiões e quase todos os estados, exceto Acre, Amapá, Roraima e Tocantins (figura 1). Há alta concentração nas capitais dos estados do Sul e do Sudeste. A cidade de São Paulo, sem considerar a região metropolitana, abriga 42,1% do total de empresas (gráfico 6), entre as quais as estabelecidas, como PagSeguro, VivaReal e iFood, e empresas em estágio *pre-seed* como Musii, uma rede social que conecta pessoas por meio da música.

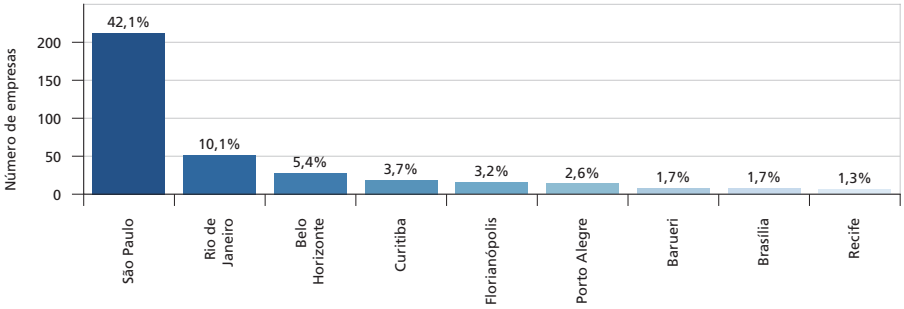
A cidade do Rio de Janeiro aparece em segundo lugar, com 10,1% do total de empresas (gráfico 6), sendo a sede, por exemplo, do Hotel Urbano e do Volanty, *marketplace* digital de carros usados. Belo Horizonte, Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre vêm em seguida, recebendo, por exemplo, Méliuz, MadeiraMadeira, ManejeBem e Deixa Comigo, respectivamente.

Além das capitais das regiões Sul e Sudeste, há empresas de plataforma no interior. Campinas, Caxias do Sul, Joinville, Londrina, Maringá, São Carlos, São José do Rio Preto, São José dos Campos e Uberlândia abrigam juntas 31 empresas, das quais já foi citado um exemplo interessante, o Rapidão App, instalado em São José do Rio Preto. Foram apresentadas também outras plataformas: uma sediada em Uberlândia, chamada Prestho, fundada em 2018, que conecta influenciadores digitais a empresas que buscam estratégias de *marketing online*; a Conta Azul, criada em 2011 em Joinville, conecta empresas a contadores; e, por fim, a Appegada, fundada em 2018 em Londrina, permite que os donos de animais encontrem serviços, rastreiem seus animais de estimação e façam adoção.

FIGURA 1
Distribuição geográfica das empresas de plataforma brasileiras

Fonte: Crunchbase.
Elaboração dos autores.

GRÁFICO 6
Número de empresas de plataforma por cidade



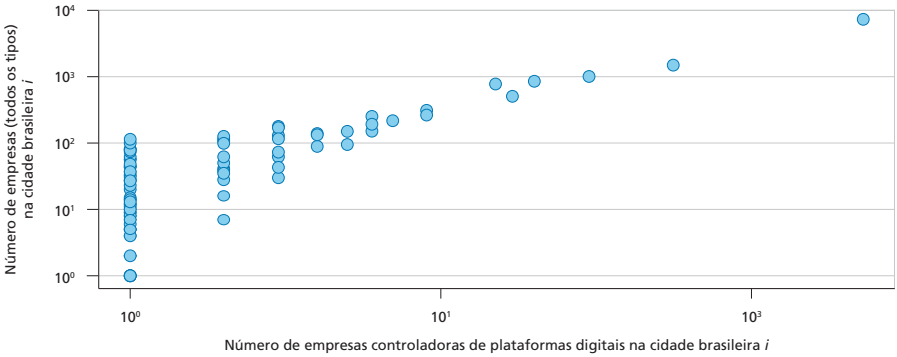
Fonte: Crunchbase.
Elaboração dos autores.

Com menos intensidade, Centro-Oeste, Norte e Nordeste também aderiram ao movimento de plataformização no país. As capitais das regiões são localizações dominantes de empresas de plataformas digitais, conforme ilustrado na figura 1: por exemplo, Goiânia é a cidade-sede da Inspecto Agri; Recife abriga a SODE, empresa de plataforma que trata de logística urbana e também presta serviços de frete, criada em 2015 e adquirida pelo Magalu; e Salvador abriga o Saúde Vianet e o Onde Fui Roubado,[15] rede social colaborativa focada em denúncias populares e que alerta usuários e governo sobre os locais onde pessoas foram assaltadas.

É possível observar que, embora haja participação relativamente intensa de São Paulo e Rio de Janeiro na década da *platformania* (2010-2020), regiões relativamente menos industrializadas do país ainda estão aderindo ao processo. De fato, a distribuição das empresas de plataformas digitais por cidade segue exatamente o mesmo padrão de distribuição das empresas "genéricas" por cidade: as cidades que hospedam mais empresas são as que hospedam mais empresas de plataformas digitais. Isso é corroborado pela alta correlação apresentada no gráfico 7, com cada ponto representando uma cidade.

GRÁFICO 7

Correlação de distribuição das cidades brasileiras – empresas (todos os tipos) *versus* empresas controladoras de plataforma digital



Fonte: Crunchbase.
Elaboração dos autores.
Obs.: Cada círculo corresponde à cidade brasileira *i*, sendo *i* = 97. Informações sobre a localização das empresas controladoras de plataformas estão disponíveis para 533 empresas, ou seja, 95% das empresas identificadas na Crunchbase.

Finalmente, é preciso mencionar que as regiões Sul e Sudeste não só concentram um maior número de empresa de plataforma como também concentram as maiores em número de funcionários, faixa de receita e captação total, conforme demonstrado a seguir.

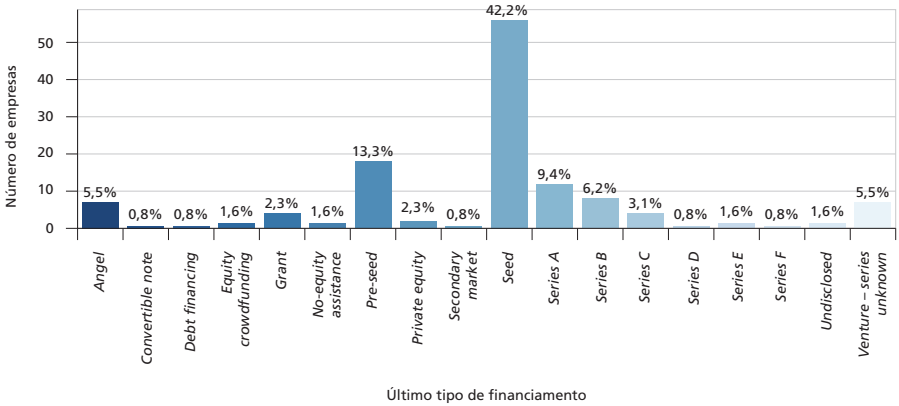
15. Outras plataformas digitais muito populares relacionadas a surtos de violência são Fogo Cruzado e Onde Tem Tiroteio (OTT), ambas sediadas no Rio de Janeiro e nenhuma delas cadastradas na Crunchbase.

4.4 Baixo valor de financiamento, porém internacionalizado

Das 556 empresas de plataformas com sede no Brasil, apenas 17% possuem dados sobre operações de captação. Esse baixo percentual pode ser decorrente do ecossistema brasileiro de *venture capital* – ainda incipiente, subdesenvolvido e basicamente patrocinado por recursos governamentais (Veiga e McCahery, 2019). No entanto, também pode ser uma limitação da Crunchbase, pois não abrange todos os dados sobre investimentos em *startups*. Considerando a ressalva anterior, 55,5% das últimas rodadas de financiamento registradas são *pre-seed* e *seed*, e apenas 0,8% delas são rodadas de mercado secundário (gráfico 8). É natural que o número de rodadas iniciais de financiamento seja maior do que o de rodadas mais avançadas. No entanto, a grande discrepância entre o número de rodadas de financiamento iniciais e mais avançadas pode indicar tanto a imaturidade das empresas de plataforma nacionais quanto a imaturidade do sistema de financiamento.

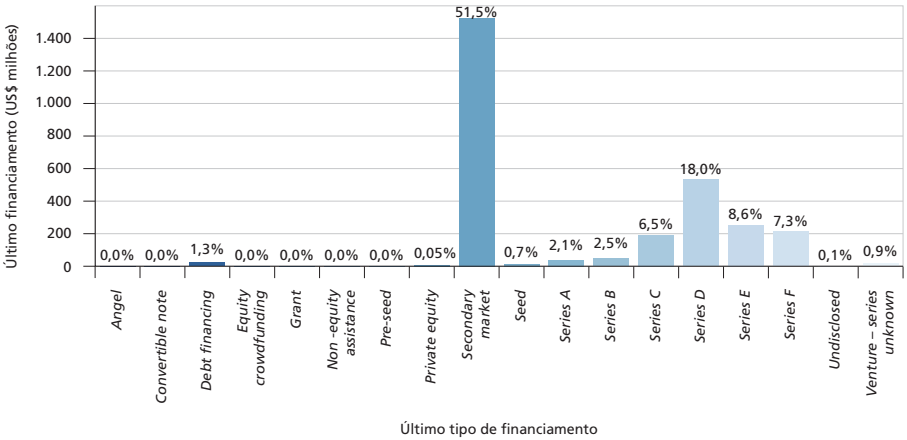
Considerando, no entanto, o valor da captação, 51,5% delas representam recursos do mercado secundário (gráfico 9). Essa concentração de valor nas rodadas finais de captação pode indicar um valor médio muito baixo nas rodadas iniciais de investimento *seed* e *pre-seed*, o que viria a limitar as possibilidades de desenvolvimento dessas empresas. Por exemplo, nos Estados Unidos, o valor médio de uma rodada de financiamento inicial em 2020 foi de US$ 4,6 milhões. Esse valor, que corresponde à primeira rodada de captações nos Estados Unidos, é um terço de todo o *funding* captado pelo Apontador, vigésima empresa de plataforma da tabela 2, onde estão listadas aquelas com maior captação.

GRÁFICO 8
Distribuição do último tipo de financiamento, por número de empresas



Fonte: Crunchbase.
Elaboração dos autores.

GRÁFICO 9
Distribuição do último tipo de financiamento, por valor em US$



Fonte: Crunchbase.
Elaboração dos autores.

TABELA 2
As vinte maiores empresas de plataforma digitais ativas de acordo com o valor total do financiamento

Número	Nome	Ano de fundação	Localização	*Funding* total (US$)	*Equity funding* total (US$)	Setor/mercado
1	iFood	2011	Osasco	2.097.259.869	591.860.000	Serviço de entregas
2	Loft	2018	São Paulo	788.000.000	788.000.000	*Marketplace* imobiliário
3	Loggi	2013	São Paulo	507.001.000	507.000.000	Serviço de entregas
4	MadeiraMadeira	2009	Curitiba	338.820.267	335.984.000	*Marketplace*
5	99 (DiDi)	2012	São Paulo	244.329.771	244.329.771	Carona
6	Hotel Urbano	2011	Rio de Janeiro	135.000.000	135.000.000	Viagens
7	Shopper	2015	São Paulo	107.142.137	107.142.137	*Marketplace*
8	VivaReal	2009	São Paulo	74.780.000	74.780.000	*Marketplace* imobiliário
9	Trocafone	2014	São Paulo	62.430.022	57.430.022	*Marketplace*
10	InstaCarro	2015	São Paulo	55.622.617	55.622.617	*Marktplace*
11	Conexa Saúde	2017	São Paulo	45.464.351	45.464.351	*Healthtech*
12	ContaAzul	2011	Joinville	36.983.721	36.983.721	*Fintech*
13	EmCasa	2018	Rio de Janeiro	32.100.000	28.600.000	*Marketplace* imobiliário
14	FinanZero	2015	São Paulo	26.788.817	26.788.817	Fintech
15	Pagaleve	2021	São Paulo	25.851.098	25.851.098	Fintech
16	Volanty	2017	Rio de Janeiro	23.000.000	23.400.000	*Marketplace*

(Continua)

(Continuação)

Número	Nome	Ano de fundação	Localização	*Funding* total (US$)	*Equity funding* total (US$)	Setor/mercado
17	Cayena	2019	São Paulo	21.000.000	21.000.000	*Marketplace*
18	Elo7	2008	São Paulo	18.000.000	18.000.000	*Marketplace*
19	GetNinjas	2011	São Paulo	16.786.267	16.786.267	*Freelancing online*
20	Apontador	2008	São Paulo	15.000.000	15.000.000	Mecanismo de buscas

Fonte: Crunchbase.
Elaboração dos autores.

O iFood tem o maior valor total de financiamento. A empresa levantou um total de US$ 2,1 bilhões em oito rodadas. Os primeiros recursos captados vieram exclusivamente de investidores brasileiros (Warehouse Investimentos e Movile) e, a partir de 2014, investidores estrangeiros financiaram a empresa (Prosus, da Holanda, e Just Eat, do Reino Unido). A Loft – *marketplace* de imóveis residenciais que auxilia na gestão do processo de compra e venda de imóveis –, fundada em 2018, levantou um total de US$ 788 milhões em quatro rodadas de captação com 46 investidores, dos quais seis são investidores líderes: Vulcan, D1 Capital Partners, Fifth Wall, Andreessen Horowitz, dos Estados Unidos; Baillie Gifford, do Reino Unido; e Monashees, do Brasil. A Loggi – uma plataforma de entrega de alimentos e serviços de correio por atacado –, fundada em 2013, levantou um total de US$ 507 milhões em oito rodadas. A primeira em 2013, com captação de US$ 1 milhão (Iporanga Ventures). A partir de 2014, os investidores estrangeiros passaram a desempenhar um papel de destaque (Qualcomm Ventures, Dragoneer Investment Group, IFC Venture Capital, Microsoft's Venture Fund, GGV Capital, Fifth Wall, Sunley House Capital Management, dos Estados Unidos; Kaszek, da Argentina; SoftBank Vision Fund, do Reino Unido; e Velt Partners, da Espanha), com presença tímida de outros investidores brasileiros (Monashees e CapSur Capital).

5 DISCUSSÃO

O que motivou inicialmente a elaboração deste capítulo foi verificar se as empresas brasileiras acompanharam a tendência mundial de desenvolvimento de plataformas digitais. A investigação e os dados levaram a outras questões relacionadas. Uma delas diz respeito à natureza desse processo de plataformização em termos de mercados: o processo de plataformização brasileiro seguiria sua própria trajetória original ou teria copiado os mesmos mercados que foram plataformizados no resto do mundo? Por exemplo, a Mundi, empresa fundada em 2008 e adquirida pela Kayak, era a versão brasileira da plataforma internacional Booking.com? A 99, fundada em 2012 e adquirida pela DiDi, era a versão nacional da plataforma estadunidense Uber? Muitos outros exemplos existem (quadro 4), e essa possível "tropicalização" das plataformas digitais merece uma investigação mais aprofundada, que está fora do escopo deste capítulo – e também deste livro.

QUADRO 4
Empresas de plataforma digitais estrangeiras e brasileiras que operam nos mesmos mercados

Setor/mercado	Plataformas estrangeiras		Plataformas brasileiras	
	Nome	Ano de fundação	Nome	Ano de fundação
Marketplace de ingressos	Ticketmaster	1976	Sympla	2012
Marketplace	Amazon	1994	Submarino	1999
Viagens	Booking.com	1996	Mundi	2008
Trabalho *online*	UpWork	1999	99Freelas	2014
Entregas	GrubHub	2004	Loggi	2013
Mídias sociais	Yelp	2004	Kekanto	2010
Trabalho *online*	Amazon Mechanical Turk	2005	Testaisso	2013
Marketplace de veículos	CarGurus	2006	Volanty	2017
Marketplace de produtos de segunda mão	OLX	2006	JáVendeu.com	2020
Streaming de vídeo	MUBI	2007	Filme Filme	2020
Trabalho *online* local	Taskrabbit	2008	GetNinjas	2011
Carona	Uber	2009	99Taxi	2012
Relacionamentos	Tinder	2012	Umatch	2020
Redes sociais pessoais	OnlyFans	2016	Privacy	2020

Fonte: Crunchbase.
Elaboração dos autores.

Observaram-se também empresas brasileiras de plataforma digital muito singulares. A Uboi, fundada em 2016, é conhecida como a "Uber do gado" e tem mais de 3 mil caminhões cadastrados no aplicativo. Ela é controlada pelo conglomerado JBS e permite que os pecuaristas acessem a frota da JBS e outras cadastradas no aplicativo, oferecendo monitoramento em tempo real do transporte de gado. Também foram identificadas microempresas que lidam com desafios locais, como a Appgas – uma plataforma que conecta consumidores e distribuidores de botijão de gás, especialmente em localidades não cobertas por sistemas de gasodutos – e a Pleni[16] – um *marketplace* que conecta distribuidores de água mineral engarrafada a consumidores, relevantes em regiões onde a água potável não chega por dutos. Existem até empresas como a Goleiro de Aluguel, que conecta atletas a times de futebol e goleiros.

Além disso, foi identificado um grande número de plataformas de *marketplace* para produtos e serviços como: i) automóveis (InstaCarro); ii) autopeças (Origynal); iii) transporte de passageiros (99); iv) entregas por motos (Motoboy.app) ou

16. Assim como o Pleni, há outras plataformas que sequer estão na Crunchbase, como a Rapidágua. Disponível em: https://www.rapidagua.com.br/.

carros (Vuxx); e v) serviços auxiliares para motoristas (como seguros ou reboques – Cadê Guincho). Esses exemplos demonstram como as características anteriores do mercado permanecem e condicionam o processo de plataformização.

Outra questão evidenciada pelos dados se refere às empresas de plataforma digital que operam em mercados relacionados à sustentabilidade. Destacam-se aqui algumas que conectam *players* do mercado de energia renovável, como Lemon Energy e CleanClic, B2Blue.com, Descarte Legal e Agro2Business, que desenvolveram sistemas transacionais para gestão de resíduos e comercialização de subprodutos, remetendo ao conceito de simbiose industrial (Krom, Piscicelli e Frenken, 2022). Isso pode indicar um potencial para que mais empresas de plataforma atuem em direção à sustentabilidade e se tornem importantes vetores da "transição gêmea" (verde e digital) (Ferreira *et al.*, 2022; Fouquet e Hippe, 2022). Se for esse realmente o caso, esse "mercado" de empresas de plataforma voltadas para a sustentabilidade merece atenção especial e talvez até políticas públicas que promovam seu desenvolvimento e viabilização.

Além disso, por fim, os dados sobre financiamento (subseção 4.4.) mostraram a participação limitada de investidores no processo de investimento, sendo que a maioria das empresas ainda é muito pequena (*pre-seed* e *seed*). Essa parece ser uma característica da estrutura do mercado brasileiro de *private equity* e *venture capital* (Carvalho, Gallucci Netto e Sampaio, 2014). Apesar de o número de investidores ser restrito, uma vez que as empresas de plataforma começam a crescer, o investimento do exterior aumenta (mercados secundários) ou elas são adquiridas/assumidas por empresas de plataforma estrangeiras. Essa particularidade merece mais investigação, especialmente para entender os fluxos internacionais de investimento na economia de plataformas em todo o mundo e se medidas especiais devem ser tomadas para salvaguardar os interesses de mercado e nacionais, dada a nova dinâmica de fusões e aquisições digitais (Gautier e Lamesch, 2021; Parker, Petropoulos e Van Alstyne, 2021), já que, conforme apontado na subseção 2.3, a literatura trata de forma ambígua os efeitos da aquisição de *startups* pelas grandes empresas de plataforma.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vale ressaltar novamente a unidade de análise proposta neste capítulo: a empresa controladora de plataformas digitais, isto é, a empresa de plataforma. Enquanto uma plataforma digital é um "espaço de ação social organizado e mais ou menos expansivo, com forte embasamento técnico e base institucional" (Dolata e Schrape, 2022, p. 14, tradução nossa), a unidade de análise é uma organização que controla/possui uma plataforma digital. Pensando nisso, foi proposto que se verificasse se o setor privado brasileiro havia aderido à década da *platformania*

(2010-2020) e, em caso afirmativo, quais teriam sido as principais características em relação ao tamanho das empresas, setor, distribuição regional e sua fonte de recursos.

A identificação de 556 grandes empresas de plataforma sediadas no Brasil, das quais 82% foram fundadas a partir de 2011, é uma evidência de que o país aderiu à tendência da *platformania* internacional. Isso contraria estudos que recorrentemente apontavam um mapa vazio na região quanto à existência de empresas domésticas de plataformas digitais, como se no Brasil e em outros países do Sul global houvesse apenas plataformas digitais controladas por empresas de plataforma internacionais. Não se pode negar a presença preponderante destas no território nacional, pois, em alguns setores, empresas estrangeiras de plataforma digital são dominantes, como: transporte de passageiros (Uber); motores de busca (Google); e redes sociais (Meta), demonstrando uma dependência muito grave da oferta internacional de serviços digitais. No entanto, são apontados indícios de que há um grupo doméstico não desprezível ganhando força. O iFood, por exemplo, controla hoje mais de 70% do mercado,[17] e há outras empresas de plataformas digitais nacionais que fizeram tanto sucesso que acabaram sendo adquiridas por grupos internacionais, como a Akwan, que desenvolveu uma plataforma de busca e logo foi adquirida pelo Google, ou a 99, que foi adquirida pela chinesa DiDi.

Apesar dos unicórnios,[18] como o já citado iFood, a maioria das empresas de plataforma brasileiras é pequena em termos de faturamento e funcionários, está concentrada regionalmente e é infante em termos de financiamento.

Sem dúvida, a classificação por grupos da indústria proposta pela Crunchbase, conforme apresentado na subseção 4.2, é imprecisa (Savin, Chukavina e Pushkarev, 2022), sendo necessária uma investigação mais aprofundada sobre a classificação nas plataformas brasileiras. Além disso, a triagem de empresas de plataforma brasileiras por função (B2B, B2C, B2G),[19] tipo (transacional, inovativa, informacional, híbrida) e mercado (transporte de passageiros, entrega, imóveis etc.) seria uma importante contribuição para a compreensão da economia brasileira de plataformas digitais. As evidências apresentadas parecem apontar para uma forma específica de inserção do Brasil na economia de plataforma global. As empresas de plataforma brasileiras assumem diferentes tipos e se especializam em nichos

17. Disponível em: https://valorinternational.globo.com/business/news/2022/01/06/drop-in-industry-uber-eats-ends-restaurants-delivery-eletrobrass-privatization-schedule.ghtml.

18. No contexto das *startups*, um "unicórnio" se refere a uma empresa que alcançou uma capitalização de mercado de, no mínimo, US$ 1 bilhão antes de realizar uma oferta pública inicial (*initial public offering* – IPO) ou ser adquirida por outra empresa. Essas empresas são notáveis, assemelhando-se à raridade e à valiosidade atribuídas aos unicórnios na mitologia, devido ao seu crescimento acelerado e ao seu potencial de disruptura no mercado.

19. B2B (*business-to-business*) se refere a transações comerciais entre empresas; B2C (*business-to-consumer*) envolve transações comerciais diretas entre uma empresa e consumidores individuais; B2G (*business-to-government*) se refere a transações comerciais entre empresas e órgãos governamentais.

específicos, mas, no final, são variações de *marketplaces* que conectam indivíduos ou grupos para transações ou interações. Essas plataformas geralmente possuem um valor de mercado menor do que as plataformas de inovação (Cusumano, Gawer e Yoffie, 2019), apresentam menores barreiras à entrada e menores custos de desenvolvimento, além de menores demandas tecnológicas.

Mais investigações também são necessárias sobre os dados apresentados na subseção 4.3, que mostraram a prevalência de São Paulo e Rio de Janeiro na *platformania*. Isso tem implicações importantes para o desenvolvimento regional do país. Se as plataformas digitais são o elemento organizacional fundamental no novo paradigma tecnoeconômico, conforme mencionado na seção 2, e as empresas de plataforma podem ser pontos gravitacionais para a acumulação de capital, o valor apropriado pelos controladores das plataformas estão restritos às regiões Sul e Sudeste, que já são as regiões mais dinâmicas em termos de atividade econômica e renda.

REFERÊNCIAS

ARBACHE, Jorge; SOUSA, Leandro Magalhães Silva de. **Sharing the benefits of the data economy for economic development**. Amsterdã: SSRN, 2019. Disponível em: https://www.ssrn.com/abstract=3699076.

BELLEFLAMME, Paul; PEITZ, Martin. **The economics of platforms**. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9781108696913/type/book.

BESTEN, Matthijs L. **Crunchbase research**: monitoring entrepreneurship research in the age of big data. Amsterdã: SSRN, 2020. Disponível em: https://www.ssrn.com/abstract=3724395.

BRIGATTO, Gustavo. Baidu vende Peixe Urbano para fundo. **Valor Econômico**, 28 nov. 2017. Disponível em: https://valor.globo.com/empresas/noticia/2017/11/28/baidu-vende-peixe-urbano-para-fundo.ghtml.

CÂMARA, Sara Talita Costa. **Consumo na cibercultura**: uma etnografia sobre o valor da compra no *e-commerce* local Peixe Urbano. 2015. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

CARVALHO, Antonio Gledson; GALLUCCI NETTO, Humberto; SAMPAIO, Joelson. Private equity and venture capital in Brazil: an analysis of its evolution. **Brazilian Review of Finance**, v. 12, n. 4, p. 499, 2014. Disponível em: http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbfin/article/view/43304.

CASTELLS, Manuel. **The rise of the network society**. The information age: economy, society, and culture. 2nd ed. Hoboken: Wiley-Blackwell, 1996. v. 1.

_____. **Communication power**. Oxford: Oxford University Press, 2009.

CHIARINI, Tulio; PRATES, Bruno Prado; RIBEIRO, Leonardo Costa. *Venture capital* das grandes plataformas chinesas no Brasil e no mundo. **Boletim Radar**: Tecnologia, Produção e Comércio Exterior, v. 72, p. 16-21, 2023.

COHEN, Julie E. **Between truth and power**: the legal constructions of informational capitalism. Oxford: Oxford University Press, 2019.

CUSUMANO, Michael A.; GAWER, Annabelle; YOFFIE, David B. **The business of platforms**: strategy in the age of digital competition, innovation, and power. New York: Harper Business, 2019.

DALLE, Jean-Michel; BESTEN, Matthijs Den; MENONI, Carlo. **Using Crunchbase for economic and managerial research**. Paris: OECD, 2017. (Science, Technology and Industry Working Papers, n. 2017/08).

DAVIES, Anna R. *et al*. Sharing economies: moving beyond binaries in a digital age. **Cambridge Journal of Regions, Economy and Society**, v. 10, n. 2, p. 209-230, 2017. Disponível em: https://academic.oup.com/cjres/article/10/2/209/3868122.

DOLATA, Ulrich; SCHRAPE, Jan-Felix. **Platform architectures**: the structuration of platform companies on the internet. Sttugart: University of Stuttgart, 2022. (SOI Discussion Paper, n. 2022.01).

EVANS, David S.; SCHMALENSEE, Richard. **Matchmakers**. Boston: Harvard Business Review Press, 2016.

EVANS, Peter C.; GAWER, Annabelle. **The rise of the platform enterprise**: a global survey. New York: CGE, 2016. (The Emerging Platform Economy Series, n. 1).

FERRATI, Francesco; MUFFATTO, Moreno. Using Crunchbase for research in entrepreneurship: data content and structure. *In*: EUROPEAN CONFERENCE ON RESEARCH METHODOLOGY FOR BUSINESS AND MANAGEMENT STUDIES, 19., 2020, Aveiro, Portugal. **Proceedings**... Aveiro: ECRM, 2020. p. 11.

FERREIRA, João J. *et al*. The interactions of entrepreneurial attitudes, abilities and aspirations in the (twin) environmental and digital transitions? A dynamic panel data approach. **Technology in Society**, v. 71, p. 102121, 2022. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0160791X22002627.

FOUQUET, Roger; HIPPE, Ralph. Twin transitions of decarbonisation and digitalisation: a historical perspective on energy and information in European economies. **Energy Research and Social Science**, v. 91, p. 102736, 2022. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214629622002407.

FRENKEN, Koen; FUENFSCHILLING, Lea. The rise of online platforms and the triumph of the corporation. **International Journal for Sociological Debate**, v. 14, n. 03, p. 101-113, 2020.

FRIEDERICI, Nicolas; REISCHAUER, Georg; LEHDONVIRTA, Vili. **The business of European platforms**: how digital intermediaries in e-commerce, food delivery, health and care, and social networking manage value and compete. Oxford: University of Oxford, 2022.

GAUTIER, Axel; LAMESCH, Joe. Mergers in the digital economy. **Information Economics and Policy**, v. 54, n. C, p. 1-15, 2021. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167624520301347.

GAWER, Annabelle. Bridging differing perspectives on technological platforms: toward an integrative framework. **Research Policy**, v. 43, n. 7, p. 1239-1249, 2014. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048733314000456.

_____. Digital platforms and ecosystems: remarks on the dominant organizational forms of the digital age. **Innovation, Organization and Management**, v. 24, n. 1, p. 1-15, 2021. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14479338.2021.1965888.

GROEN, Willem Pieter de *et al*. **Digital labour platforms in the EU**: mapping and business models. Brussels: CEPS, 2021.

KÄSSI, Otto; LEHDONVIRTA, Vili; STEPHANY, Fabian. **How many online workers are there in the world?** A data-driven assessment. [s.l.]: [s.n.], 2021.

KEMENY, Tom; NATHAN, Max; ALMEER, Bader. **Using Crunchbase to explore innovative ecosystems in the US and UK**. Birmingham: University of Birmingham, 2017. (Discussion Paper Series, n. 2017.01).

KENNEY, Martin; ZYSMAN, John. The rise of the platform economy. **Issues in science and technology**, v. 32, n. 3, p. 61-69, 2016.

_____. The platform economy: restructuring the space of capitalist accumulation. **Cambridge Journal of Regions, Economy and Society**, v. 13, n. 1, p. 55-76, 2020. Disponível em: https://academic.oup.com/cjres/article/13/1/55/5809994.

KROM, Pim; PISCICELLI, Laura; FRENKEN, Koen. Digital platforms for industrial symbiosis. **Journal of Innovation Economics and Management**, v. 39, n. 3, p. 215-240, 2022. Disponível em: https://www.cairn.info/revue-journal-of-innovation-economics-2022-3-page-215.htm?ref=doi.

LAZONICK, W. The US stock market and the governance of innovative enterprise. **Industrial and Corporate Change**, v. 16, n. 6, p. 983-1035, 2007. Disponível em: https://academic.oup.com/icc/article-lookup/doi/10.1093/icc/dtm030.

LEHDONVIRTA, Vili. **Cloud empires**: how digital platforms are overtaking the state and how we can regain control. Cambridge: MIT Press, 2022.

MANSELL, Robin; STEINMUELLER, W. Edward. **Advanced introduction to platform economics**. Cheltenham: Edward Elgar, 2020.

MAO, Yuping. Intercoder reliability techniques: Holsti method. *In*: ALLEN, Mike (Org.). **The SAGE Encyclopedia of Communication research methods**. Thousand Oaks: Sage Publications, 2017. p. 740-743.

MAZZUCATO, Mariana. Innovation, the state and patient capital. *In*: JACOBS, Michael; MAZZUCATO, Mariana (Org.). **Rethinking capitalism**: economics and policy for sustainable and inclusive growth. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2016.

NAMBISAN, Satish; WRIGHT, Mike; FELDMAN, Maryann. The digital transformation of innovation and entrepreneurship: progress, challenges and key themes. **Research Policy**, v. 48, n. 8, p. 103773, 2019. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048733319300812.

NOVA FILHO, Marcus Vinicius Menezes; CHIARINI, Tulio; MARCATO, Marilia Bassetti. **Plataformização do mercado audiovisual**: a indústria de streaming de vídeo no Brasil. Rio de Janeiro: Ipea, 2023. (Texto para Discussão, n. 2929).

PARKER, Geoffrey G.; PETROPOULOS, Georgios; VAN ALSTYNE, Marshall W. Platform mergers and antitrust. **Industrial and Corporate Change**, v. 30, n. 5, p. 1307-1336, 2021. Disponível em: https://academic.oup.com/icc/article/30/5/1307/6365871.

PARKER, Geoffrey G.; VAN ALSTYNE, Marshall W.; CHOUDARY, Sangeet Paul. **Platform revolution**: how networked markets are transforming the economy? And how to make them work for you. New York: Norton and Company, 2016.

RIKAP, Cecilia; LUNDVALL, Bengt-Åke. Big tech, knowledge predation and the implications for development. **Innovation and Development**, v. 12, n. 3, p. 1-28, 2020. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/2157930X.2020.1855825.

_____. **The digital innovation race**: conceptualizing the emerging new world order. Cham: Palgrave MacMillan, 2021.

RISO, Sara. **Digital age**: mapping the contours of the platform economy. Dublin: Eurofound, 2019. (Working Paper, n. WPEF19060).

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço**: técnica e tempo, razão e emoção. São Paulo: Hucitec, 1996.

SAVIN, Ivan; CHUKAVINA, Kristina; PUSHKAREV, Andrey. Topic-based classification and identification of global trends for startup companies. **Small Business Economics**, v. 60, p. 659-689, 2022. Disponível em: https://link.springer.com/10.1007/s11187-022-00609-6.

SILVA, Victo José; BONACELLI, Maria Beatriz Machado; PACHECO, Carlos Américo. O sistema tecnológico digital. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 19, p. 1-31, 2020. Disponível em: https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8658756.

SILVA, Victo José; CHIARINI, Tulio. The platformization of science: towards a scientific digital platform taxonomy. **Minerva**, v. 61, p. 1-19, 2023.

SILVA, Victo José; CHIARINI, Tulio; RIBEIRO, Leonardo da Costa. **Viagens de descobrimento**: mapeando a geografia da economia de plataformas. São Paulo: Blucher, 2022. p. 374-394. Disponível em: http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/37219.

SRNICEK, Nick. **Platform capitalism**. Cambridge: Polity Press, 2017.

TEECE, David J. Profiting from innovation in the digital economy: enabling technologies, standards, and licensing models in the wireless world. **Research Policy**, v. 47, n. 8, p. 1367-1387, 2018. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048733318300763.

VAN DIJCK, José. Seeing the forest for the trees: visualizing platformization and its governance. **New Media and Society**, v. 23, n. 9, p. 1-19, 2020. Disponível em: http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1461444820940293.

VAN DIJCK, José; POELL, Thomas; WAAL, Martijn de. **The platform society**: public values in a connective world. Oxford: Oxford University Press, 2018.

VEIGA, Marcelo Godke; MCCAHERY, Joseph A. The financing of small and medium-sized enterprises: an analysis of the financing gap in Brazil. **European Business Organization Law Review**, v. 20, n. 4, p. 633-664, 2019. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/s40804-019-00167-7.

ZUBOFF, Shoshana. **A era do capitalismo de vigilância**: a luta por um futuro humano na nova fronteira do poder. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2019.

APÊNDICE

QUADRO A.1
Lista das empresas de plataforma citadas no capítulo

Empresa	*Website*/Aplicativo	*Status*	Empresa	*Website*/Aplicativo	*Status*
99Freelas	https://www.99freelas.com.br/	Ativo	Lojas Americanas	https://www.americanas.com.br/	Ativo
99	http://99app.com/	Ativo	MadeiraMadeira	https://www.madeiramadeira.com.br/	Ativo
Agro2business.com	https://www.agro2business.com/	Ativo	Magalu	https://www.magazineluiza.com.br/	Ativo
Aiqfome	https://aiqfome.com/	Ativo	ManejeBem	http://www.manejebem.com.br/	Ativo
Apontador	https://www.apontador.com.br/	Ativo	Méliuz	https://www.meliuz.com.br/	Ativo
Appegada	https://appegada.com/	Ativo	Motoboy App[1]	https://motoboy.app/	Ativo
Appgas	https://appgas.com/	Ativo	Mundi.com	https://www.mundi.com.br/	Ativo
B2Blue.com	https://www.b2blue.com/	Ativo	Musii	https://www.musii.app/	Ativo
B2W Digital	https://ri.americanas.io/	Ativo	Onde Fui Roubado	http://ondefuiroubado.com.br/	Ativo
Cadê Guincho	https://cadeguincho.com/	Ativo	Onde Tem Tiroteio[1]	https://www.ondetemtiroteio.com.br/	Ativo
CargoX	https://cargox.com.br/	Ativo	Origynal	https://www.origynal.com.br/	Ativo
Cayena	https://www.cayena.com/	Ativo	Pagaleve	https://www.pagaleve.com.br/	Ativo
Cleanclic	https://www.cleanclic.com.br/	Ativo	PagSeguro	https://pagseguro.uol.com.br/	Ativo
Conexa Saúde	https://www.conexasaude.com.br/	Ativo	Pede Pronto	https://www.pedepronto.com.br/	Ativo
Conta Azul	https://contaazul.com/	Ativo	Peixe Urbano	-	Fechada
Deixa Comigo	https://www.deixacomigoonline.com.br/	Ativo	Pleni	https://pleni.com.br/	Ativo
Dr. Cannabis	https://drcannabis.com.br/	Ativo	Prestho	https://www.prestho.com.br/	Ativo
Drogarias Pacheco	https://www.drogariaspacheco.com.br/	Ativo	Privacy	https://privacy.com.br/	Ativo
Elo7	http://www.elo7.com.br/	Ativo	Prolancer	http://prolancer.com.br/	Ativo

(Continua)

(Continuação)

Empresa	*Website*/Aplicativo	*Status*	Empresa	*Website*/Aplicativo	*Status*
EmCasa	https://www.emcasa.com/	Ativo	QuintoAndar	https://www.quintoandar.com.br/	Ativo
Filme Filme	https://www.filmefilme.com.br/	Ativo	Rapidágua[1]	https://www.rapidagua.com.br/	Ativo
Flash Boy	https://flashboydelivery.com.br/	Ativo	Rapidão App	https://rapidaoapp.com.br/	Ativo
Fogo Cruzado[1]	https://fogocruzado.org.br/	Ativo	Saúde Vianet	https://saudevianet.com.br/	Ativo
Garcia Imóveis	http://www.garciaimoveisrs.com.br/	Ativo	Shopper	https://landing.shopper.com.br/	Ativo
GetNinjas	https://www.getninjas.com.br/	Ativo	Singu	https://www.singu.com.br/	Ativo
Goleiro de Aluguel	https://goleirodealuguel.com.br/	Ativo	SODE	https://sode.com.br/	Ativo
Homer1	https://www.homer.com.br/	Ativo	Submarino	https://www.submarino.com.br/	Ativo
Hotel Urbano	https://www.hurb.com/	Ativo	Submarino Viagens	https://www.submarinoviagens.com.br/	Ativo
iFood	https://ifood.com.br/	Ativo	Telecine	https://www.telecine.com.br/	Ativo
Imóvelweb	https://www.imovelweb.com.br/	Ativo	Testaisso	https://www.testaisso.com.br/	Ativo
Inspecto Agri	http://www.inspectoagri.com/	Ativo	Uboi	https://uboi.com.br/	Ativo
InstaCarro	https://www.instacarro.com/	Ativo	Umatch	https://www.umatch.com.br/	Ativo
JáVendeu.com	https://javendeu.com/	Ativo	Veggi	https://veggi.io/	Ativo
Job for Model	https://jobformodel.com/	Ativo	Veiling	https://veiling.com.br/	Ativo
Kekanto	-	Fechada	VivaReal	https://www.vivareal.com.br/	Ativo
Lemon Energy	https://www.energialemon.com.br/	Ativo	Volanty	https://www.volanty.com/	Fechada
Lockey	http://www.lockey.com.br/	Ativo	Vuxx	https://www.vuxx.com.br/	Ativo
Loft	https://loft.com.br/	Ativo	Zap Imóveis	https://www.zapimoveis.com.br/	Ativo
Loggi	https://www.loggi.com/	Ativo	Zé Delivery	https://www.ze.delivery/	Ativo

Fonte: Crunchbase.
Elaboração dos autores.
Nota: [1] Plataformas que não estão presentes na Crunchbase.

CAPÍTULO 3

ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 POR EMPRESAS BRASILEIRAS[1]

Luis Claudio Kubota[2]
Maurício Benedeti Rosa[3]

1 INTRODUÇÃO

A denominação indústria 4.0 surgiu como uma iniciativa do governo alemão, em 2011, para incentivar a manufatura digital por meio do aumento da digitalização e da interconexão entre produtos, cadeias de valor e modelos de negócio, além de dar suporte a atividades de pesquisa (European Commission, 2017). É caracterizada por máquinas conectadas, produtos e sistemas inteligentes e soluções integradas, que permitem unidades de produção inteligentes responsáveis por monitorar e controlar dispositivos físicos. Assim, a indústria 4.0 permite a produção de forma autônoma e dinâmica – isto é, uma produção em massa de itens customizados (Lasi *et al.*, 2014; Tortorella e Fettermann, 2018).

Inserida num contexto de digitalização – isto é, de convergência contínua dos mundos real e virtual como o principal motor de inovação e mudança em todos os setores da economia (Kagermann, 2015), a indústria 4.0 representa a atual tendência das tecnologias de automação na indústria de manufatura – base para aumentar o nível geral de industrialização, informatização e digitalização e assim alcançar maior eficiência, competência e competitividade. Inclui tecnologias habilitadoras, como sistemas ciberfísicos (*cyber-physical systems* – CPS), internet das coisas (*internet of things* – IoT) e computação em nuvem, as quais, combinadas com tecnologias emergentes, podem melhorar drasticamente complexos ecossistemas industriais (Xu, Xu e Li, 2018).

A integração das tecnologias da indústria 4.0 aos sistemas de trabalho atuais, incluindo quais processos elas são capazes de suportar, ainda está em aberto (Kolberg, Knobloch e Zühlke, 2017), de tal forma que, apesar de perspectivas promissoras, as fronteiras do fenômeno da indústria 4.0 ainda são bastante difusas (Lima e Gomes, 2020). A fase inicial deste novo ciclo permite que tecnologias

1. Estudo elaborado a partir de Acordo de Cooperação entre o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) e o Núcleo de Informação e Coordenação do Ponto BR (NIC.br).

2. Técnico de planejamento e pesquisa na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais, de Inovação, Regulação e Infraestrutura (Diset) do Ipea.

3. Bolsista do Subprograma de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) na Diset/Ipea.

existentes, baseadas na era industrial, coexistam com tecnologias de ponta. Essa mistura evidencia a falta de uma transformação tecnológica claramente definida, tornando extremamente importante que as economias em desenvolvimento se preparem por meio de políticas públicas que apoiem a inovação (Arbix *et al.*, 2017).

No Brasil, alguns autores ressaltaram preocupações quanto ao atraso na inserção do país em acompanhar a quarta revolução industrial – por exemplo, citando falta de iniciativas governamentais, baixa prioridade para inovação em termos de políticas públicas, entre outros. Porém, nos últimos anos foram empreendidos projetos importantes com o objetivo de fomentar a evolução tecnológica no âmbito nacional, entre as quais destacam-se a Estratégia Brasileira para a Transformação Digital (e-Digital) e o Plano Nacional de Internet das Coisas. A partir deste plano criou-se a Câmara Brasileira da Indústria 4.0 (Câmara I4.0), com o objetivo de promover o diálogo entre atores do setor público e representantes dos setores industriais e da academia a fim de formular e implementar iniciativas públicas e privadas voltadas para a adoção de tecnologias 4.0 pela indústria brasileira.

Em nível de empresas, por meio de diversas pesquisas, tornou-se passível de verificação que há muitas dificuldades para a adoção de novas tecnologias de forma mais abrangente. Entre elas, é possível salientar níveis baixos de conhecimento de novas tecnologias, em particular em pequenas empresas, falta de mão de obra qualificada para lidar com processos de transformação digital, além da necessidade de altos investimentos e a dificuldade de acesso a incentivos e financiamento adequado.

Dado o destaque cada vez maior que as tecnologias 4.0 – como inteligência artificial (IA) – têm assumido para garantir aos países índices de produtividade mais elevados e relevância no cenário internacional, é de extrema importância entender como determinadas características das empresas brasileiras influenciam os seus respectivos processos de adoção de tecnologias 4.0, de forma a auxiliar na superação de desafios por meio de políticas elaboradas com maior assertividade. Para tanto, este trabalho utiliza-se de modelagens paramétricas e não paramétricas, com dados da pesquisa TIC Empresas 2021, para contribuir sobre os determinantes da adoção de tecnologias 4.0 em empresas brasileiras.

O capítulo está organizado em cinco seções, além desta introdução. A seção 2 traz uma revisão de literatura sobre a indústria 4.0, com destaque para a descrição dos documentos propostos pela Câmara I4.0. A seção 3 apresenta a metodologia – modelo logit, modelo linear generalizado e árvores de decisão –, a seção 4 apresenta os resultados, a seção 5, as discussões e, como desfecho, as considerações finais seguem na seção 6.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Ao longo da história da industrialização, os saltos tecnológicos provocaram mudanças de paradigma, que mais tarde foram denominadas revoluções industriais. Nesse sentido, a digitalização avançada dentro das fábricas servindo de pano de fundo para a associação de tecnologias de internet com máquinas e produtos inteligentes parece originar uma nova mudança de paradigma na produção industrial, denominada de quarta revolução industrial (Lasi *et al.*, 2014). No entanto, em comparação com as revoluções industriais anteriores, os efeitos da atual revolução são mais extensos e afetam também os departamentos industriais indiretos, além da produção, especialmente os processos de engenharia. Portanto, o potencial de crescimento da produtividade neste caso está associado a melhorias no trabalho intelectual e nos processos de tomada de decisão. Da mesma maneira, torna-se possível reproduzir a complexidade das cadeias de valor, retratando as redes globais de produção de forma holística, o que ajuda a otimizar seu *design* e configuração e oferece uma vantagem crucial: a transparência – gargalos no fluxo de trabalho podem ser facilmente isolados (Schuh *et al.*, 2014).

De acordo com Lasi *et al.* (2014), alguns conceitos fundamentais relacionados à indústria 4.0 são: i) fábrica inteligente – a manufatura é totalmente equipada com sensores, atuadores e sistemas autônomos; ii) CPS – os níveis físico e digital se fundem, de modo que as condições reais do sistema resultam do objeto físico e dos parâmetros do processo digital; iii) auto-organização – a hierarquia de produção é substituída por sistemas de manufatura descentralizados; iv) novos sistemas de distribuição, compras e desenvolvimento de produtos e serviços, cada vez mais individualizados; v) sistemas de manufatura projetados para atender às necessidades humanas; e vi) responsabilidade social corporativa – por exemplo, sustentabilidade e eficiência na utilização de recursos.

Schuh *et al.* (2014) argumentaram que uma das principais características da indústria 4.0 é promover a colaboração entre departamentos, a qual pode tornar as empresas mais competitivas. Segundo os autores, esse crescimento de produtividade depende de facilitadores como poder de computação e tecnologia da informação global, *softwares* com gestão completa do ciclo de vida dos produtos, entre outros. Em relação aos mecanismos para aumentar a produtividade, os autores sugerem que as fábricas inteligentes podem minimizar o tempo de desenvolvimento do produto, dada a possibilidade de simular a produção enquanto o artigo está sendo confeccionado, ou seja, o processo é passível de exposição e eliminação de barreiras desde o início. Finalmente, os sistemas auto-otimizados podem trabalhar com eficiência no ponto ótimo de operação, adaptando-se a mudanças repentinas nos processos de produção.

No caso da Alemanha, Kagermann e Wahlster (2022) fizeram uma avaliação das mudanças ocorridas nos últimos dez anos – desde a introdução da indústria 4.0. De acordo com os autores, nas novas fábricas do complexo manufatureiro alemão os sistemas de produção ciberfísicos e a IoT já são realidade e a conectividade das máquinas preexistentes teve forte crescimento, sucesso este relacionado ao amplo apoio dos principais pilares da sociedade e à cooperação efetiva de indústria, sistema político, academia e sindicatos. Ainda, como novas megatendências da indústria 4.0, são citadas a IA industrial, computação de borda até a *edge cloud*, 5G na fábrica, *team robotics*, sistemas intralogísticos autônomos e infraestruturas de dados confiáveis.

A IA, possivelmente a tecnologia mais proeminente do atual cenário, tem gerado promessas de ganhos de produtividade, melhoria de bem-estar e atuação como importante ferramenta para endereçar grandes desafios, tais como o aquecimento global. Embora ainda pairem questões e desafios associados a confiabilidade, privacidade, segurança, entre outros, a tecnologia tem se mostrado cada vez mais popular,[4] de modo que o Observatório de Políticas de Inteligência Artificial da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) já documenta mais de oitocentas iniciativas de política em 69 jurisdições (Caira e Perset, 2023).

Com o 5G cada vez mais tornando-se realidade, a indústria 4.0 também é parte importante de estudos na área de redes móveis. Um exemplo partiu do Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE), sendo denominado International Network Generations Roadmap (INGR), com a proposta de apontar para "tendências, desafios e soluções no cenário atual e de curto prazo das redes móveis, e a visão futura que está sendo desenvolvida por meio das atividades das Organizações de Desenvolvimento de Padrões (SDOs) e da indústria em todo o mundo" (IEEE, 2022a, p. 1, tradução nossa).[5] Composto de quatorze grupos de trabalho, o INGR tratou da indústria 4.0 – também chamada de internet industrial das coisas (*industrial internet of things* – IIoT) – com mais detalhes no grupo denominado *edge services and automation* (IEEE, 2022b), o qual elucidou casos de uso atraentes para as tecnologias de borda alavancadas pelo 5G, entre as quais a indústria 4.0. No grupo de *applications and services*, colocou-se como exemplo que essa nova forma de produção industrial ainda não foi totalmente explorada, de tal maneira que o 5G pode impactar significativamente esse domínio nos próximos anos (IEEE, 2022c).

4. Pesquisa e desenvolvimento de políticas para IA já figuram nas agendas nacionais com grandes investimentos. Países têm procurado atualizar suas respectivas legislações, regulamentos e padrões associados à tecnologia, além de buscar iniciativas incluindo parcerias estratégicas de cooperação internacional para a promoção de uma IA confiável (Caira e Perset, 2023).

5. "*Trends, challenges, and solutions in the current and near-term mobile network landscape, and the future vision as being cultivated through the activities of Standards Development Organizations (SDOs) and the industry around the globe*."

Segundo o IEEE (2022b), a indústria 4.0 refere-se ao uso de IoT para permitir a digitalização inteligente juntamente com técnicas de IA e aprendizado de máquina[6] aplicados à manufatura. Entre os principais guias da indústria 4.0 estão a automação com inteligência e a transformação digital visando à elevação de produtividade. Nesse contexto, as soluções de mercado envolvem *softwares* para serviços em nuvem, gerenciamento de energia, conectividade, controladores, telerrobótica, entre outros. Não menos importante, destaca-se a necessidade dos mais diversos tipos de sensores e a crescente relevância de análise de dados na automação industrial e, consequentemente, na indústria 4.0.

Um conjunto de trabalhos utilizou-se de análises bibliométricas para caracterizar os estudos associados à indústria 4.0 em diversas frentes – como na conceituação das principais tecnologias e na apresentação dos países que se destacam na produção científica mundial (Lima e Gomes, 2020), na estrutura de crescimento das pesquisas sobre o tema (Muhuri, Shukla e Abraham, 2019), na identificação de conhecimentos e habilidades que devem ser desenvolvidas pela mão de obra da área (Kipper *et al.*, 2021) e na descrição da relação existente entre a indústria 4.0 e o tema da sustentabilidade (Furstenau *et al.*, 2020).

Internacionalmente, a distribuição geográfica dos estudos associados ao tema de indústria 4.0 concentra-se sobretudo em Alemanha, China e Estados Unidos, embora Itália e Reino Unido também sejam atores relevantes – a depender da base de dados utilizada. Ainda, no que concerne à área de estudo, a pesquisa em indústria 4.0 é conduzida principalmente pelas áreas de engenharia e ciência da computação (Ahmi, Elbardan e Raja Mohd Ali, 2019; Kipper *et al.*, 2020; Lima e Gomes, 2020; Muhuri, Shukla e Abraham, 2019).

No Brasil, o debate sobre a indústria 4.0 tem buscado identificar, além dos possíveis impactos em termos de produtividade da indústria, outras oportunidades para a transformação estrutural da economia, a qual se mostra exposta aos avanços que já se tornaram realidade em outros países, dada a sua baixa capacidade de inovação tecnológica, bem como sua dependência das *commodities* (Arbix *et al.*, 2017). Diversos autores expressaram preocupação quanto à capacidade do Brasil em conseguir acompanhar a presente revolução industrial e consequentemente aproveitar as possíveis recompensas dos *early adopters*.

Vieira, Ouriques e Arend (2020) sintetizaram políticas associadas ao paradigma da quarta revolução industrial em sete países: Estados Unidos, Alemanha, França, Reino Unido, Japão, Coreia do Sul e China. Segundo os autores, ponto

6. Um dos grupos de trabalho do INGR é denominado *artificial intelligence and machine learning* (AI/ML), o qual propõe-se a descrever áreas potenciais em que tais ferramentas podem ser usadas para impactar positivamente o 5G e redes futuras – como *network automation, network slicing, network digital twins*, cibersegurança, computação em nuvem, *multi-access edge computing e dynamic spectrum access* (IEEE, 2022d).

importante e comum entre eles referiu-se à relevante atuação do Estado como líder de projetos ligados à implantação da chamada indústria 4.0. No Brasil, entretanto, ressaltaram que a inovação parece não ter sido encarada como uma prioridade na política pública, colocando como principais problemas a ausência de uma política de Estado, falta de continuidade, recursos financeiros insuficientes e incerteza na execução orçamentária.

De forma semelhante, Arbix *et al*. (2017), ao reconhecerem as dificuldades inerentes ao Brasil e temendo a marginalização do país no processo de consolidação da indústria 4.0, sintetizaram semelhanças entre os três maiores expoentes das inovações tecnológicas – Estados Unidos, Alemanha e China –, que poderiam ser utilizadas como ponto de partida para a estratégia brasileira de manufatura avançada. As semelhanças entre os três países citados incluíram, entre outras, trabalhar com foco, prioridades e alto volume de recursos; preparar o caminho para indústrias emergentes; aumentar o diálogo e promover a colaboração público-privada; criar fundos de capital de risco e apoiar *startups* de tecnologia; promover a internacionalização de empresas e instituições de inovação; e estabelecer marcos regulatórios amigáveis à inovação.

Kupfer (2016) explicou o desconhecimento das empresas brasileiras em relação à indústria 4.0 pela falta de um debate nacional, argumentando que há poucas iniciativas governamentais nesse sentido e que são escassos os seminários com a presença de especialistas, o que revela a baixa prioridade dada ao tema.[7] Além disso, o autor destacou a necessidade de investimentos institucionais e regulatórios como precondições para a difusão da indústria 4.0.

Por meio de análise bibliométrica, Nascimento (2021) destacou a Universidade de São Paulo (USP) e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) como instituições referências em estudos sobre indústria 4.0 no Brasil. Com relação ao fomento às pesquisas e tecnologias, entidades públicas como a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) destacaram-se como as principais financiadoras. Ainda, o mapeamento de conhecimentos-chave associados à indústria 4.0 evidenciou tendências na utilização de IoT e IA no contexto da manufatura nacional.

Diversas pesquisas feitas junto às empresas ajudam a traçar a evolução desse panorama em território nacional. Em 2016, a Confederação Nacional da Indústria (CNI) realizou um estudo para determinar os principais desafios para a implantação das tecnologias da indústria 4.0. Os resultados indicaram o baixo

7. Velho e Barbalho propõem a criação de um Observatório da Indústria 4.0 como forma de fomentar a discussão e disseminação das tecnologias 4.0 e estreitar a relação entre a academia e o setor produtivo "para fins científicos e de comercialização do conhecimento" (2019, p. 15).

conhecimento da nova tecnologia, especialmente entre as pequenas empresas, como um obstáculo substancial à utilização, além dos altos custos de implementação como a principal barreira interna e a falta de trabalhadores qualificados como o desafio externo central. De forma complementar, as empresas brasileiras argumentaram que o governo deveria focar em infraestrutura – por exemplo, desenvolvimento de infraestrutura digital, como banda larga e sensores para acelerar a adoção de tecnologias digitais, e também educação, investindo em novos modelos educacionais e programas de treinamento (CNI, 2016).

A partir de versão atualizada da pesquisa cinco anos depois, CNI (2022) apontou aumento na utilização de tecnologias 4.0 por empresas industriais, embora, em sua maioria, em quantidade pouco expressiva, indicando baixa maturidade no processo de digitalização. Como principais benefícios obtidos foram indicados aumento de produtividade, maior qualidade de produtos e serviços e redução de custos operacionais. Com relação aos desafios, os resultados mantiveram-se semelhantes: alto custo de implantação foi a principal barreira interna[8] e falta de trabalhadores qualificados a barreira externa central.

A popularização das tecnologias 4.0 bem como os vários obstáculos para sua adoção foram captados também por outras análises. Uma pesquisa feita pelo Centro de Gestão de Estudos Estratégicos (CGEE) com 75 empresas, em sua maioria de médio e grande porte (CGEE, 2021), demonstrou forte mudança no cenário mencionado por CNI (2016) ao revelar que apenas 5% das empresas declararam não ter conhecimento sobre os conceitos da indústria 4.0. Ainda, os resultados colocaram questões de competitividade, redução de custos e produtividade como principais fatores para a adoção de novas tecnologias – IoT, sensores inteligentes, computação em nuvem, *big data* e IA. Como principais desafios, foram realçadas dificuldades no uso das novas tecnologias, necessidade de altos investimentos e falta de trabalhadores qualificados. Conclusões semelhantes surgiram em pesquisa realizada com 135 empresas vinculadas à Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (Abimaq). O levantamento apontou obstáculos como dificuldades de acesso a incentivos para aquisição de tecnologias avançadas – grande parte das empresas depende de recursos próprios como fonte de investimento, principalmente as de menor porte –, além de melhorias na formação e preparação de trabalhadores e questões relativas à segurança de dados (Abimaq e NEO, 2021).

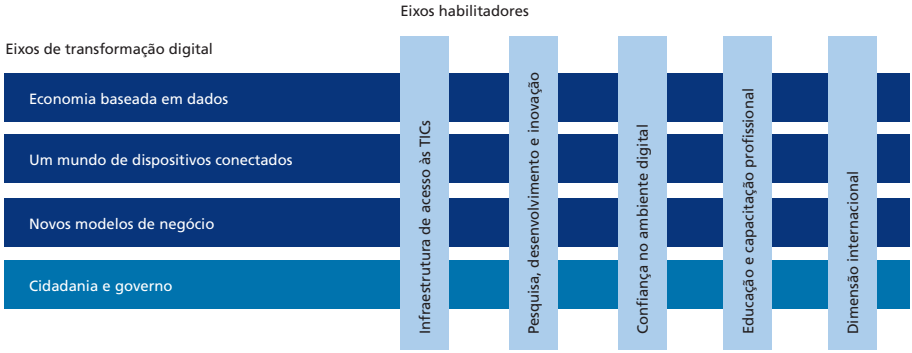
Apesar das dificuldades estruturais apontadas pela literatura, iniciativas importantes foram desenvolvidas no Brasil nos últimos anos com o intuito de apoiar

8. Em pequenas e médias empresas (PMEs), ressaltou-se também a falta de conhecimento técnico sobre tecnologias digitais como importante barreira interna, a qual evidencia a necessidade de melhor difusão do conhecimento das tecnologias 4.0 entre as micro, pequenas e médias indústrias (MPMIs).

a transformação digital do país e, consequentemente, a indústria 4.0. Neste contexto, destacam-se a e-Digital e o Plano Nacional de Internet das Coisas. Foi como uma das estratégias desse plano que surgiu a Câmara I4.0.

A e-Digital é dividida em dois grandes eixos temáticos: i) eixos habilitadores; e ii) eixos de transformação digital, conforme detalhado na figura 1. Enquanto os eixos habilitadores são compreendidos como aqueles que vão formar as bases para que a transformação digital aconteça, o segundo grupo envolve as estratégias para promover a evolução digital das atividades do governo e da economia.

FIGURA 1
Matriz de organização dos eixos temáticos



Fonte: CGEE e MCTI (2022).
Obs.: TICs – tecnologias da informação e comunicação.

Dentro da e-Digital, a indústria 4.0 tem diversas iniciativas associadas. Entre os objetivos específicos da transformação digital da economia, a indústria aparece como uma das áreas prioritárias para o desenvolvimento de soluções tecnológicas, sendo inserida no objetivo geral de estímulo à informatização, ao dinamismo, à produtividade e à competitividade da economia brasileira.

No âmbito de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I), são consideradas ações estratégicas estimular investimentos públicos e privados para as demandas da indústria, além de promover diálogos entre o setor e representantes de governo e academia, de forma a garantir políticas abrangentes, convergentes e coordenadas. Para o eixo envolvendo educação e capacitação profissional, propõe-se o estímulo a cursos técnicos e programas de pós-graduação alinhados a demandas dos setores produtivos – por exemplo, com temas da indústria 4.0.

Com relação aos eixos de transformação digital, muitas ações estratégicas têm aplicabilidade no setor industrial, incluindo questões de interoperabilidade e processos baseados em dados, bem como estímulo à inovação aberta para acesso a novas tecnologias. O eixo abrangendo dispositivos conectados tem especial

relevância por detalhar as potencialidades da IoT no setor industrial, sobre as quais são propostas ações: de fomento ao desenvolvimento e implantação de plataformas para validação e avaliação das soluções de IoT; de escalabilidade e replicabilidade das plataformas abertas nacionais de IoT; plataformas IoT abertas; e *Robot as a Service* (RaaS), entre outros. Não menos importante, coloca-se a necessidade de se criar e fomentar plataformas para o desenvolvimento de novos modelos de negócios aplicáveis a um contexto de acelerada evolução tecnológica.

Inserido na e-Digital está o Plano Nacional de Internet das Coisas, caracterizado de forma mais abrangente no capítulo 4. A indústria 4.0 é uma das verticais indicadas como prioritárias pelo plano, tornando-se referência para acesso a mecanismos de fomento à pesquisa científica, ao desenvolvimento tecnológico e à inovação, bem como apoio ao empreendedorismo de base tecnológica. Para atividades de assessoramento e acompanhamento da implementação do plano, a Câmara I4.0[9] foi formalizada em 3 em abril de 2019, com coordenação compartilhada pelos ministérios da Economia e da Ciência, Tecnologia e Inovações, além da participação de atores da sociedade nas estruturas de governança e nos Grupos de Trabalho (GT).[10]

O Plano de Ação da Câmara I4.0 apresenta um conjunto de iniciativas distribuídas entre os grupos de trabalho, conforme o quadro 1. Para cada ação proposta, há ainda uma ou mais medidas associadas, as quais são detalhadas de acordo com sua natureza – por exemplo, projeto ou ação contínua, além de informações quanto à entidade responsável, impactos esperados e prazo para execução. As revisões do plano podem provocar adição ou exclusão de ações e iniciativas segundo novas necessidades ou a conclusão de projetos.

QUADRO 1
Ações de cada GT conforme o Plano de Ação 2019-2022

GT	Ações
1. Desenvolvimento tecnológico e inovação: desafios e medidas para promover a inovação e o desenvolvimento de tecnologias habilitadoras e soluções da indústria 4.0 por empresas no Brasil	Identificar segmentos ou nichos com maior potencial para desenvolvimento tecnológico nacional
	Estruturar rede de sistemas para o desenvolvimento e a demonstração de tecnologias associadas à indústria 4.0 aplicada a setores priorizados
2. Capital humano: desafios para dispor de recursos humanos qualificados para atuarem no ambiente da indústria 4.0 e no desenvolvimento de tecnologias relacionadas	Promover a formação e requalificação de professores em competências e habilidades para a economia 4.0
	Viabilizar a qualificação, o aperfeiçoamento e a requalificação de profissionais para a economia 4.0
	Estimular competências e habilidades educacionais para a economia 4.0

(Continua)

9. Disponível em: https://camara40.com.br/. Acesso em: 17 fev. 2023.
10. Para mais detalhes quanto ao modelo de governança das câmaras IoT, ver capítulo 4.

(Continuação)

GT	Ações
3. Cadeias produtivas e desenvolvimento de fornecedores: desafios para promover a adoção de tecnologias habilitadoras e soluções para a indústria 4.0 em empresas de todos os portes visando ao aumento da produtividade	Fomentar o desenvolvimento de produtos e processos compartilhados entre *startups* e grandes empresas
	Apoiar a inserção de empresas na indústria 4.0, em especial as micro, pequenas e médias empresas (MPMEs)
	Dar suporte a programas de desenvolvimento da cadeia de valor da indústria 4.0
	Estimular a oferta de recursos financeiros para promover o desenvolvimento tecnológico voltado para a indústria 4.0
4. Regulação, normalização técnica e infraestrutura: criar ou aperfeiçoar instrumentos de normalização e regulação e desenvolver infraestruturas visando à melhoria do ambiente para o desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil	Promover o estabelecimento e a difusão de regulamentos e normas e técnicas relacionados à indústria 4.0
	Estimular a oferta de infraestruturas e ambientes tecnológicos apropriados para suporte da indústria 4.0

Elaboração dos autores.

O plano abrange também uma ação da Secretaria Executiva baseada em propor, implementar e monitorar ações que aprimorem o funcionamento da Câmara I4.0, bem como trazer transparência, engajamento e eficiência.

No endereço virtual da câmara, as iniciativas são divididas em seis grandes grupos: i) regulação – normas e legislação; ii) infraestrutura – conectividade e aplicações; iii) acesso a recursos – fomento e financiamento; iv) conhecimento – estudos e mapeamento; v) capital humano – capacitação e diagnósticos; e vi) MPME – desenvolvimento e adoção de novas tecnologias. As próximas subseções abordam em mais detalhes cada um deles.

2.1 Regulação

Com a proposta de fornecer subsídios para a elaboração de um *roadmap* da normalização brasileira, CGEE (2021) buscou priorizar os temas mais relevantes a partir das necessidades de empresas e grupos de interesse envolvidos com a indústria 4.0, enquanto CGEE (2020), ao condicionar a realização da indústria 4.0 ao estabelecimento de normas técnicas – padrões e referências comuns adotados por vários elos da cadeia de valor –, trouxe uma revisão de literatura incluindo *benchmark* internacional – por exemplo, de Alemanha e Estados Unidos, e atuação dos principais organismos de normalização internacional no contexto da indústria 4.0 – como a Organização Internacional de Normalização (International Organization for Standardization – ISO) e a Comissão Eletrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission – IEC). Entre as diversas recomendações, colocou-se como imprescindível a participação e colaboração do Brasil com organizações internacionais, além de ações de capacitação, coordenação e comunicação junto à indústria e aos demais grupos de interesse (CGEE, 2021). Ainda, CGEE (2020) ressaltou elementos como liderança do governo, processo de governança apropriado

e estratégia com metas e objetivos claros para aumentar as chances de sucesso das iniciativas.

Na proposta de trabalho de um *roadmap*[11] brasileiro para a normalização para a indústria 4.0, a câmara dedicada a este tema propôs dezenove capítulos, iniciando por semântica, normalização da terminologia e modelos de referência, passando por segurança e proteção de TI, código aberto e casos de uso, para finalizar com *design* do ambiente de trabalho e projeto de trabalho de apoio à aprendizagem e ao desenvolvimento de competências. Em cada proposta de capítulo, foram disponibilizadas também as respectivas descrições e justificativas. Um importante passo para concretizar esse processo foi dado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que criou, em julho de 2021, a Comissão de Estudo Especial da Indústria 4.0 (ABNT/CEE-254),[12] referente à normalização dessa fase da industrialização e visando fortalecer o processo de transformação digital da indústria brasileira, compreendendo a aplicação e a integração das tecnologias digitais.

2.2 Infraestrutura

As iniciativas de infraestrutura têm foco nos temas de conectividade e aplicações – por exemplo, redes que suportem o tráfego de grande volume de dados e aplicações que conectem os dispositivos, para suportar o desenvolvimento de tecnologias 4.0. Nesse cenário, destaca-se a chegada da tecnologia 5G e das redes privadas – referenciadas aos endereços virtuais de Anatel,[13] Delloite[14] e Ericsson[15] para detalhes –, bem como a difusão da IoT.

O 5G é parte importante do processo de transformação digital ao endereçar desafios de conectividade de organizações industriais, como falta de cobertura, confiabilidade do sinal e velocidade da rede. Ao suportar grandes quantidades de tráfego, com segurança, confiabilidade e baixa latência, o 5G pode propiciar a conexão em massa de inúmeros dispositivos e, combinado com outras tecnologias, "elevar a eficiência e a produtividade da indústria como um todo, ajudando em seu processo de transformação" (Spadinger, 2021, p. 10).

De maneira semelhante, a IoT, uma "rede aberta e abrangente de objetos inteligentes que possuem a capacidade de se auto-organizar, compartilhar informações, dados e recursos, reagindo e agindo diante de situações e mudanças no ambiente" (Madakam, Ramaswamy e Tripathi, 2015, p. 165), é uma das bases para a implementação da indústria 4.0, em conjunto com outras tecnologias.

11. Disponível em: https://camara40.com.br/wp-content/uploads/2021/04/Apresentacao-estudo-Roadmap-Industria-4_0.pdf.
12. Disponível em: http://rotulo.abnt.org.br/temas-estrategicos/industria-4. Acesso em: 1 mar. 2023.
13. Disponível em: https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/5G/tecnologia-5g. Acesso em: 1 mar. 2023.
14. Disponível em: https://www2.deloitte.com/us/en/pages/technology-media-and-telecommunications/topics/5g-technology.html. Acesso em: 1º mar. 2023.
15. Disponível em: https://www.ericsson.com/en/5g. Acesso em: 1º mar. 2023.

Kubota e Rosa (2023) realizaram uma breve descrição de políticas de fomento à IoT e casos de sucesso no panorama brasileiro.

No que concerne às aplicações no contexto da indústria 4.0, CGEE (2022) partiu do entendimento de que novas tecnologias podem gerar diferentes impactos a depender do setor estudado, para então buscar a identificação de setores promissores quanto à aplicação de tecnologias da indústria 4.0 no Brasil. Baseados em quatro relatórios nacionais (CNI, 2017; Daudt, Miguez e Willcox, 2018; IEDI, 2019; IEL, 2018), os autores determinaram 22 "setores brasileiros tidos como estratégicos para a indústria 4.0 no país" (CGEE, 2022, p. 68), entre os quais oito foram mais citados, e consequentemente detalhados em subtópicos. O quadro 2 apresenta as novas tecnologias tidas como mais relevantes para cada um dos principais setores selecionados.

QUADRO 2
Setores estratégicos para a indústria 4.0 no Brasil e novas tecnologias associadas

Setor	Novas tecnologias
Automotivo	IoT; *data analytics*
Petróleo e gás	*Big data*; IoT; computação em nuvem; robótica; IA; *wearables*
Farmacêutico	IoT; *big data; blockchain*; impressão 3D
Têxtil	IoT; sistemas ciberfísicos; impressão 3D; biotecnologia; química verde
Químico	*Machine learning*; *big data*; impressão 3D; biotecnologia
Alimentos e bebidas	Computação em nuvem; gêmeos digitais; *big data*; IoT
Agroindústria	IoT; IA; *blockchain*
Aeroespacial e defesa	IA; computação em nuvem; realidade virtual; realidade aumentada; impressão 3D; *blockchain*; IoT

Fonte: CGEE (2022).
Elaboração dos autores.

2.3 Acesso a recursos

Esta subseção aponta algumas alternativas de financiamento associadas à implementação de tecnologias 4.0, duas delas oferecidas pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) – Inovacred 4.0 e Finep IoT –, e duas pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) – Crédito Serviços 4.0 e Finame Máquinas 4.0.

O Finep Inovacred 4.0[16] é uma iniciativa, para empresas brasileiras, de apoio ao desenvolvimento e à aplicação de soluções de digitalização com tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 – por exemplo: IoT; computação em nuvem; *big data*; segurança digital; manufatura aditiva; manufatura digital; integração de sistemas;

16. Disponível em: http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/programas-e-linhas/inovacred4-0. Acesso em: 2 mar. 2023.

digitalização; sistema de simulação; robótica avançada; e IA. Por sua vez, o Finep IoT[17] utiliza como referência o conceito de IoT para basear o desenvolvimento de novos produtos, processos e serviços cujos planos estratégicos devem estar alinhados com um ou mais de três eixos de atuação: i) soluções digitais baseadas em IoT e demais tecnologias habilitadoras, buscando integração de ambientes virtuais e físicos em processos fabris; ii) diagnóstico feito por consultoria especializada quanto à priorização na adoção de tecnologias habilitadoras pela empresa; e iii) implementação de estratégias nos processos produtivos das empresas.

No que concerne ao BNDES, além do Crédito Serviços 4.0, já abordado no capítulo 4, existe o Finame Máquinas 4.0,[18] referente ao financiamento de itens como máquinas e equipamentos, sistemas industriais, componentes e bens de informática, os quais devem conter tecnologias associadas a soluções de manufatura avançada[19] ou serviços de IoT.[20]

Em outro exemplo, a Finep e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) lançaram em 2020 o primeiro edital[21] na temática de tecnologias 4.0, ou seja, visando o fomento e a seleção de projetos de inovação nas temáticas indústria 4.0, agro 4.0, cidades inteligentes e saúde 4.0, por meio da concessão de recursos de subvenção econômica para o desenvolvimento de produtos, processos e/ou serviços inovadores dentro do escopo das respectivas linhas temáticas e tecnologias habilitadoras. O montante disponibilizado de recursos não reembolsáveis do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) totalizou R$ 50 milhões, sendo R$ 15 milhões para a indústria 4.0.

2.4 Conhecimento

Há algumas propostas interessantes a fim de identificar, organizar e disponibilizar iniciativas relacionadas à adoção das tecnologias da indústria 4.0 no Brasil.

A plataforma Mapeamento 4.0,[22] um projeto do então MCTIC e do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai)/Departamento Nacional, busca mapear e ordenar iniciativas da indústria 4.0 para orientar e subsidiar decisões de políticas e ações de ciência, tecnologia e inovação no Brasil, de modo a facilitar

17. Disponível em: http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/programas-e-linhas/finep-iot. Acesso em: 2 mar. 2023.

18. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finame-maquinas-40. Acesso em: 2 mar. 2023.

19. Robótica, transportes autônomos, inteligência artificial, computação em nuvem, manutenção preditiva, monitoramento de desempenho, realidade aumentada, comunicação máquina a máquina, manufatura híbrida e manufatura aditiva.

20. Projeto, integração de equipamentos e componentes para conectividade, programação para coleta e análise dos dados, *software* e serviços correlatos à implantação.

21. Disponível em: http://www.finep.gov.br/chamadas-publicas/chamadapublica/643. Acesso em: 6 out. 2022.

22. Disponível em: https://mapeamento40.mctic.gov.br/#/home. Acesso em: 3 mar. 2023.

o processo de adoção da indústria 4.0 no Brasil. De forma complementar, uma parceria entre a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) e a Fundação Getulio Vargas (FGV) propôs duas ferramentas, o Painel de Monitoramento da Digitalização da Economia[23] e o Índice de Transformação Digital do Brasil.[24] Enquanto este utilizou quatro dimensões (estrutura produtiva, ambiente empresarial, cultura digital e segurança e participação) para comparar como as transações da economia brasileira estão ocorrendo no universo digital, em relação a um conjunto de outros países, o painel objetivou observar e monitorar o fenômeno da digitalização da economia do Brasil comparado a outros países por meio de seis dimensões (infraestrutura, inclusão digital, emprego, negócios, inovação e e-cidadania) e 49 indicadores.

Ao considerar que a falta de conhecimento sobre aplicações de tecnologias avançadas representa forte barreira para a indústria 4.0, o Núcleo de Engenharia Organizacional (NEO) utilizou o conceito de demonstradores – espaços que têm por objetivo apresentar tecnologias e conceitos dessa onda industrial para desenvolver e massificar soluções complexas[25] – para propor recomendações quanto à possível implementação no Brasil (NEO, 2020). Por meio de entrevistas com especialistas da Câmara I4.0, após a devida classificação e conceitualização de cada tipo de demonstrador, considerou-se que *testbeds*, *learning factories* e plantas didáticas teriam uma maior relevância para o cenário brasileiro. Em relação aos *stakeholders* com maior potencial de contribuição, enquanto grupos de empresas em colaboração seriam os principais para *testbeds*, instituições de ensino e pesquisa seriam mais relevantes para *learning factories* e plantas didáticas.

2.5 Capital humano

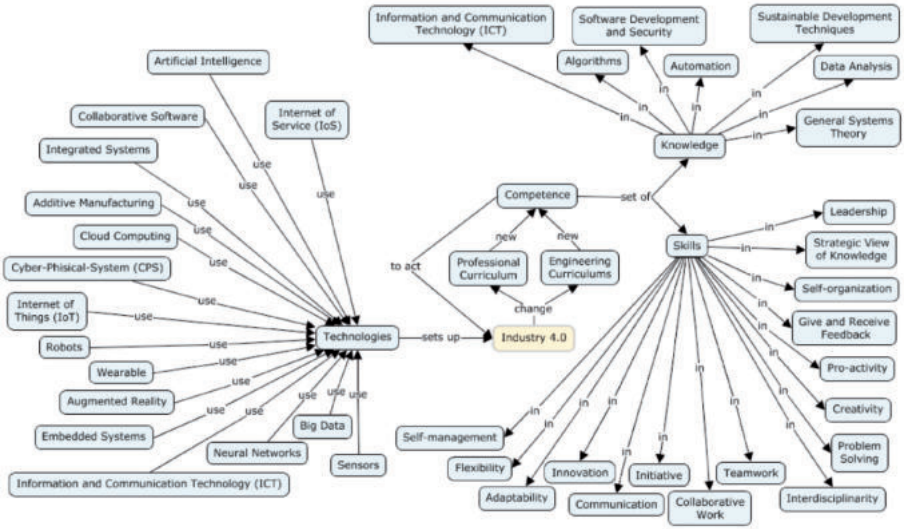
Entre estudos que buscaram diagnosticar as competências necessárias para a indústria 4.0, NEO (2021) procurou identificar profissões emergentes na era digital num contexto de recuperação verde pós-pandemia, em setores considerados chave para tal – entre eles *software* e tecnologia da informação (TI) e indústria de transformação e serviços produtivos. Por meio de entrevistas com instituições públicas e privadas representativas dos setores, estudos anteriores, bem como bases de dados sobre oferta e demanda profissional, foram identificadas como profissões mais relevantes nos dois setores acima mencionados: i) programador, cientista de dados e analista de segurança cibernética – *software* e TI; e ii) *expert* em digitalização, profissional de manufatura aditiva e operador digital – indústria de transformação. Em termos de competências, destacou-se a necessidade de novas

23. Disponível em: https://ptd.abdi.com.br/. Acesso em: 3 mar. 2023.
24. Disponível em: https://itd.abdi.com.br/. Acesso em: 3 mar. 2023.
25. Os sete demonstradores presentes no estudo foram: *testbeds*, *showcases*, plantas didáticas, *learning factories*, *living labs*, *testlabs*, *lighthouses*.

habilidades que incluam o equilíbrio de capacidades técnicas e de serviço para lidar com os novos modelos de negócio servitizados.

Em um estudo bibliométrico mais abrangente, Kipper *et al.* (2021) objetivaram identificar quais competências (conhecimentos e habilidades),[26] segundo a literatura – publicações das bases Scopus, Web of Science (WoS) e Science Direct entre os anos de 2010 e 2018 –, os profissionais devem ter para adaptação ao contexto da indústria 4.0. A figura 2 apresenta um mapa conceitual com as tecnologias associadas à indústria 4.0 e as competências necessárias aos profissionais que se propõem a acompanhar esse intenso processo de evolução tecnológica.

FIGURA 2
Mapa conceitual das transformações para a indústria 4.0



Fonte: Kipper *et al*. (2021).
Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

2.6 MPME

No que tange às MPMEs, a Câmara I4.0 trouxe o Programa Brasil Mais como oportunidade para aumento dos níveis de produtividade e competitividade. Coordenado pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC) e implementado junto à ABDI, ao Senai, ao Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae) e ao BNDES, o programa auxilia na

26. Como competência compreende-se a capacidade do ser humano em atender demandas complexas, ou seja, ir além de elementos cognitivos e aspectos funcionais para englobar atributos interpessoais e valores éticos (os quais incluem habilidade, conhecimento e atitude) (Kipper *et al*., 2021).

"adoção de melhorias de gestão e soluções digitais de rápida implementação, baixo custo e alto impacto, além de fomentar o desenvolvimento de novas tecnologias".[27] Tendo atendido mais de 117 mil empresas desde novembro de 2020, são três as possíveis modalidades de atendimento: i) entrada – melhoria de práticas gerenciais e otimização da linha de produção; ii) transformação digital – implantação de soluções digitais para maior produtividade; e iii) *smart factory* – desenvolvimento e adoção de soluções 4.0. Entre os resultados, destacaram-se ganhos médios de produtividade de 68% em linha de produção.

Com influência do Plano Nacional de IoT e do Programa Brasil Mais, o Fórum Econômico Mundial (WEF, 2020), em parceria com o Ministério da Economia do Brasil e o governo estadual de São Paulo, propôs um protocolo de políticas para intensificar a adoção de novas tecnologias em PMEs, de tal forma a ajudar os formuladores de políticas a realizarem uma quarta revolução industrial mais inclusiva. Testado inicialmente em dez PMEs de manufatura nos setores automotivo e aeronáutico do estado de São Paulo, o protocolo teve suas intervenções divididas em quatro áreas, as quais são detalhadas no quadro 3.

QUADRO 3
Protocolo de políticas para incentivar a indústria 4.0

Intervenção	Categoria	Detalhes
Elevar a conscientização	Ferramentas de avaliação de maturidade	Avaliar prontidão tecnológica em várias dimensões e comparar maturidade com outras empresas
	Fábricas demonstrativas	Tornar processos decisórios mais tangíveis para PMEs
	Catálogo de casos de uso	Ponto de partida para PMEs adaptarem às próprias situações
	Plataformas *online*	*Sites* com práticas recomendadas, histórias de sucesso e informações úteis
Suporte de especialistas	Treinamento de trabalhadores	Treinamentos *online* e práticos para preencher lacuna de conhecimento de funcionários de PMEs
	Treinamento da gerência	Conhecimento comercial e tecnológico para adoção de novas tecnologias
	Ferramentas de código aberto	Ponto de partida para conscientização e posterior adaptação/adequação ao negócio individual
	Serviços de consultoria direta	Fornecer experiência e maior confiança durante o ciclo de vida da tecnologia
Suporte financeiro	Prova de conceito ou piloto	Incentivo à experimentação e adoção de novas tecnologias
	Suporte externo especializado	Redução de custos de consultoria, abordando desafios de escalabilidade e lacunas de conhecimento
	Treinamento de trabalhadores	Encorajamento ao desenvolvimento de soluções tecnológicas
	Implementação	Encorajamento da transformação digital das PMEs
Ambiente colaborativo	Comunidades *online*	Acesso a potenciais parceiros de negócios e colegas, espaço seguro para compartilhamento de melhores práticas e lições aprendidas
	Ambientes de colaboração	Consolidação de *clusters* e *hubs* para PMEs

Fonte: WEF (2020).
Elaboração dos autores.

27. Disponível em: https://brasilmaisprodutivo.mdic.gov.br/.

Outra iniciativa presente no Brasil e chancelada pelo WEF é o Centro para a Quarta Revolução Industrial (C4IR)[28] – feito em parceria com o governo federal, governo estadual de São Paulo e a iniciativa privada. Com foco "na formulação de políticas públicas e parcerias que contribuam para o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias inovadoras de maneira ética, inclusiva, acelerando e ampliando os benefícios de tecnologias emergentes",[29] a seção dedicada à indústria traz projetos envolvendo manutenção preditiva, tecnologias 4.0 e inovação em modelos de negócio, entre outros.

Exemplo recente de estratégia promissora para a popularização das tecnologias 4.0 nas MPMEs refere-se à Jornada de Transformação Digital,[30] uma parceria entre a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp), o Centro das Indústrias do Estado de São Paulo (Ciesp), o Senai-SP e a Sebrae-SP. A iniciativa tem a capacidade de atender, em quatro anos, a 40 mil MPMEs de todos os segmentos industriais no estado de São Paulo e o atendimento pode envolver até oito etapas de consultoria e treinamento, as quais foram detalhadas no capítulo 4.

3 METODOLOGIA

3.1 Base de dados

Para avaliação dos determinantes da adoção de tecnologias 4.0 por empresas brasileiras, o estudo empírico foi desenvolvido a partir dos microdados da pesquisa TIC Empresas 2021. Conforme CGI.Br (2022), para construção da amostra de respondentes nesse levantamento, utilizou-se da técnica de amostragem estratificada, cujos estratos naturais são formados pelo cruzamento das variáveis região geográfica e mercado de atuação CNAE 2.0, a partir dos quais são definidos os estratos finais – que consideram a divisão dos estratos naturais por porte da empresa.

As empresas foram contatadas por meio da técnica de entrevista telefônica assistida por computador. Em todas as companhias pesquisadas, buscou-se entrevistar o responsável pela área de informática, tecnologia da informação, gerenciamento da rede de computadores ou área equivalente. Nas organizações que declararam no momento da entrevista ter 250 pessoas ocupadas ou mais, a estratégia foi entrevistar um segundo profissional, preferencialmente o gestor da área contábil ou financeira.

A cada empresa da amostra foi associado um peso amostral básico, obtido pela razão entre a quantidade de companhias existentes no estrato e o tamanho da amostra no estrato final correspondente. Houve ainda correção de não resposta para

28. Disponível em: https://c4ir.org.br/. Acesso em: 7 mar. 2023.
29.Disponível em: https://c4ir.org.br/quem-somos/.
30. Disponível em: https://bit.ly/3H2m60T. Acesso em: 1º mar. 2023.

os casos em que não se obteve os retornos de todos os selecionados. Da amostra planejada de 7 mil empresas, foram concluídas 4.064 entrevistas entre os meses de agosto de 2021 e abril de 2022.

O quadro 4 apresenta detalhes quanto às variáveis utilizadas no estudo.

QUADRO 4
Descrição das variáveis utilizadas

Variável	Descrição
Região	Corresponde à divisão regional do Brasil, segundo critérios do IBGE, nas macrorregiões: i) Norte; ii) Nordeste; iii) Sudeste; iv) Sul; e v) Centro-Oeste
Porte[1]	Corresponde à divisão por pequenas, médias e grandes empresas conforme o número de pessoas ocupadas: i) 10 a 49 pessoas ocupadas; ii) de 50 a 249 pessoas ocupadas; e iii) 250 pessoas ocupadas ou mais
Mercados de atuação – CNAE 2.0	Corresponde à classificação das empresas nas seções mostradas como C, F, G, H, I, J, L + M + N, R + S: i) indústria de transformação; ii) construção; iii) comércio e reparação de veículos automotores, objetos pessoais e domésticos; iv) transporte, armazenagem e correio; v) alojamento e alimentação; vi) informação e comunicação; vii) atividades imobiliárias + atividades profissionais, científicas e técnicas + atividades administrativas e serviços complementares; e viii) artes, cultura, esportes e recreação + outras atividades de serviços
D11	A sua empresa possui uma política para a segurança digital?
B18_1_4	Nos últimos doze meses, a empresa pagou por serviço de capacidade de processamento em nuvem?
H1	Nos últimos doze meses, a sua empresa fez análises de *big data*?
H3_A	Nos últimos doze meses, a sua empresa utilizou robôs industriais, como robôs usados para soldagem robótica, corte a *laser*, pintura por pulverização etc.?
H3_B	Nos últimos doze meses, a sua empresa utilizou robôs de serviço, como robôs usados para vigilância, limpeza, transporte etc.?
H5	Nos últimos doze meses, sua empresa realizou impressão em 3D?
H7	Sua empresa usa dispositivos ou sistemas interconectados que podem ser monitorados ou controlados remotamente pela internet, conhecidos como dispositivos inteligentes, ou IoT?
H9_AGREG	IA para ao menos uma entre diversas aplicações[2]
Ind4.0	Grau de aderência da empresa às tecnologias 4.0: soma das tecnologias 4.0[3] (variáveis binárias B18_1_4, H1, H3_B, H5, H7 e H9_AGREG); pode variar de 0 a 6.

Fonte: CGI.Br (2022).
Elaboração dos autores.
Notas: [1] Destaca-se que, desde a edição 2017, a informação divulgada tem como base aquela disponível no cadastro e não a declarada pelo respondente no momento da entrevista, como acontecia até a edição de 2015 (CGI.Br, 2022).
[2] H9_A: esta empresa utiliza tecnologias de inteligência artificial para: mineração de texto e análise da linguagem escrita?; H9_B: esta empresa utiliza tecnologias de inteligência artificial para: reconhecimento de fala, que converte a linguagem falada em formato legível para máquinas?; H9_C: esta empresa utiliza tecnologias de inteligência artificial para: geração de linguagem natural (GLN) para linguagem escrita ou falada?; H9_D: esta empresa utiliza tecnologias de inteligência artificial para: reconhecimento e processamento de imagens, que identificam objetos ou pessoas?; H9_E: esta empresa utiliza tecnologias de inteligência artificial para: *machine learning*, como *deep learning*, para predição e análise de dados?; H9_F: esta empresa utiliza tecnologias de inteligência artificial para: automatização de processos de fluxos de trabalho?; H9_G: esta empresa utiliza tecnologias de inteligência artificial para: movimentação física de máquinas por meio de decisões autônomas como robôs, veículos e drones autônomos?
[3] A não consideração da variável H3_A se dá pelo fato de seu uso estar muito relacionado ao setor industrial.

Para as variáveis entre D11 e H9_AGREG, conforme quadro 4, as possibilidades de resposta incluíram: 0 = "Não"; 1 = "Sim"; 97 = "Não sabe"; 98 = "Não respondeu" e 99 = "Não se aplica".

3.2 Modelagem paramétrica

Neste trabalho, para avaliar os determinantes da adoção de tecnologias 4.0 em empresas brasileiras, parte-se inicialmente de um modelo logit simples, o qual é ampliado em um modelo linear generalizado para abarcar a utilização de uma variável dependente categórica com limite superior definido. Ainda, utiliza-se um modelo não paramétrico de árvores de decisão para critérios comparativos.

No modelo logit, a partir do qual são testados os determinantes da adoção de cada uma das tecnologias 4.0 individualmente, há a pressuposição de que a variável dependente seja binária, no caso, a adoção ou não de determinada tecnologia 4.0.

Conforme Gujarati e Porter (2009), a função de distribuição logística é dada por:

$$P_i = \frac{e^{Z_i}}{1 + e^{Z_i}} \tag{1}$$

Em que $Z_i = \beta_1 + \beta_2 X_i$, X_i é o conjunto de variáveis explicativas, β_i o conjunto de coeficientes e P_i a probabilidade de ocorrência do evento estudado, que varia entre 0 e 1.

Dado que $1 - P_i = \frac{1}{1+e^{Z_i}}$, é possível escrever $\frac{P_i}{1-P_i} = e^{Z_i}$, onde $\frac{P_i}{1-P_i}$ é a razão entre as probabilidades de ocorrência e não ocorrência do evento. O modelo logit, L, será:

$$L_i = \ln\left(\frac{P_i}{1 - P_i}\right) = Z_i = \beta_1 + \beta_2 X_i \tag{2}$$

A probabilidade de ocorrência do evento não é diretamente observável, mas a variável dependente Y_i, sim, e assume 1 caso a tecnologia seja adotada e 0 em caso contrário. Dessa forma, considerando que Y_i é uma variável aleatória de Bernoulli, é possível escrever $\Pr(Y_i = 1) = P_i$ e $\Pr(Y_i = 0) = (1 - P_i)$. Supondo uma amostra aleatória com n observações, a probabilidade conjunta de observar os n valores da variável dependente pode ser descrita pela função de verossimilhança linearizada (LLF):

$$LLF = \ln f(Y_1, Y_2, \dots, Y_n) = \sum_{1}^{n} Y_i(\beta_1 + \beta_2 X_i) - \sum_{1}^{n} \ln\left(1 + e^{(\beta_1 + \beta_2 X_i)}\right) \tag{3}$$

Em que $\beta_1 + \beta_2 X_i = \ln\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right)$. As estimativas dos parâmetros são obtidas por meio da maximização da função de verossimilhança, porém os coeficientes do modelo logit não tem interpretação direta quando estimados, diferentemente dos modelos de regressão linear. Para que seja possível a interpretação é preciso calcular os efeitos marginais das variáveis aleatórias X_i, as quais refletem a mudança na probabilidade de ocorrência do evento associada a mudanças em X_i, mantendo as outras variáveis constantes $\left(\frac{\partial P_i}{\partial X_i}\right)$. Assim, o efeito marginal no modelo logit será dado por $\beta_j P_i(1 - P_i)$, onde β_j é o coeficiente da regressão parcial do *j-ésimo* regressor.

O modelo econométrico a ser estimado assumirá a forma:

$$Tec4.0_i = \ln\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \alpha + \beta_1.segurança_i + \beta_2.porte_i + \beta_3.região_i + \beta_4.CNAE_i + u_i \quad (4)$$

Em que $Tec4.0$ é a variável dependente e refere-se à tecnologia 4.0 passível de adoção pela empresa; segurança, porte, região e CNAE são as variáveis categóricas explicativas referentes à posse de política de segurança digital, quantidade de pessoas ocupadas, região de origem e respectivo CNAE de cada empresa.

Uma segunda abordagem envolve os determinantes da adoção de tecnologias 4.0 conforme a totalidade das tecnologias existentes em cada empresa, ou seja, a variável dependente passa a ser dada pela soma de todas as tecnologias adotadas por cada empresa, $Ind4.0$, podendo variar de 0 a 6,[31] enquanto as variáveis explicativas são mantidas.

Embora a variável dependente $Ind4.0$ aparente ser referente à contagem de tecnologias 4.0 adotadas por cada empresa, a sua natureza propriamente dita não é de uma variável de contagem – isto é, com limite superior indefinido. Nesse caso, ela é dada pela soma de variáveis binárias com valores mínimo e máximo predeterminados pela quantidade de tecnologias escolhidas para representar a indústria 4.0.

Segundo Wooldridge (2010), modelos de regressão binomial são adequados para casos nos quais deseja-se analisar dados de contagem condicionais a um limite superior conhecido. De acordo com o autor, sendo x_i um conjunto de variáveis exógenas, assume-se que y_i dado (n_i, x_i) tem distribuição binomial, denotada por $[n_i, p(x_i, \beta)]$, onde $p(x_i, \beta)$ é uma função limitada entre 0 e 1 – usualmente y_i é visto como a soma de n_i variáveis aleatórias independentes de Bernoulli (0 ou 1) e $p(x_i, \beta)$ é a probabilidade (condicional) de sucesso em cada tentativa. Tipicamente, $p(x_i, \beta) = G(x_i, \beta)$, onde $G(.)$ é uma função de distribuição cumulativa como a função logística ou a normal padrão. Dado um modelo paramétrico $p(x, \beta)$, o estimador de quasi máxima verossimilhança é obtido pela maximização da soma da *binomial quasi-log likelihood* de cada observação i.

31. A variável que compreende robôs industriais não é considerada por ter sua aplicação notadamente restrita ao setor industrial.

A opção então dá-se pelo modelo linear generalizado com distribuição binomial e função de ligação logit, a qual assume a forma semelhante à da equação (4).

$$Ind4.0_i = \ln\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \alpha + \beta_1.segurança_i + \beta_2.porte_i + \beta_3.região_i + \beta_4.CNAE_i + u_i \quad (5)$$

As mudanças ocorrem na forma como a estimação é feita no *software* econométrico, com a introdução do parâmetro *a*, o qual denota o valor máximo de I4.0 (6), e a determinação quanto à distribuição binomial. A descrição do código no *software* Stata é conforme segue:

$$glm\ Ind4.0\ segurança\ porte\ região\ CNAE, family(binomial\ a)\ link(logit) \quad (6)$$

A interpretação é dada por um modelo logit de $Ind4.0$ eventos ocorrendo em *a* tentativas como uma função das variáveis explicativas. A estimação é feita a partir de um estimador de máxima verossimilhança.

3.3 Modelagem não paramétrica: árvores de decisão

A estimação não paramétrica é realizada por meio de árvores de inferência condicional – "uma classe não paramétrica de árvores de regressão incorporando modelos de regressão estruturados em árvore em uma teoria bem definida de procedimentos de inferência condicional" (p. 1), as quais podem ser aplicadas a problemas variados incluindo aqueles com variáveis dependentes ordinais.[32]

Segundo Song e Lu (2015), a construção das árvores de decisão é dada por dois componentes principais, galhos e nós. Os três tipos de nós incluem o nó raiz, a partir do qual resultará a subdivisão em dois ou mais subconjuntos; o nó interno, cuja borda superior está conectada ao seu nó pai e a borda inferior está conectada aos seus nós filhos ou nós folhas; e o nó folha (ou nó final), o qual representa o resultado da combinação de decisões ou eventos. Por sua vez, os galhos representam resultados ou ocorrências que se desdobram dos nós raízes e dos nós internos, os quais formam uma hierarquia de ramificações.

De forma geral, a classificação é estimada por partições binárias recursivas – em uma estrutura de inferência condicional – em três etapas: i) testa-se a hipótese nula global de independência entre qualquer uma das variáveis de entrada e a resposta, parando se ela não puder ser rejeitada. Em caso de variável de entrada significativa, aquela com associação mais forte – medida por um *p*-valor – é selecionada; ii) implementa-se uma divisão binária na variável de entrada selecionada; e iii) repete-se recursivamente os passos i) e ii).[33]

32. Disponível em: https://cran.r-project.org/web/packages/partykit/vignettes/ctree.pdf.
33. Disponível em: https://cran.r-project.org/web/packages/partykit/partykit.pdf.

4 RESULTADOS

Um desafio para a avaliação em relação aos determinantes da utilização de tecnologias 4.0 por meio da pesquisa TIC Empresas 2021 refere-se ao fato de que as perguntas do módulo H (novas tecnologias) são feitas exclusivamente às companhias que informaram possuir área de TI – 44% da totalidade das organizações. Segundo o relatório do levantamento, isso se dá com base no conhecimento prévio sobre a maior complexidade desse tipo de empresa em relação às demais que compõem a amostra da pesquisa.

Essa peculiaridade relacionada às perguntas sobre novas tecnologias dificulta o trabalho de estimações econométricas ao gerar possível viés, de duas formas: i) quando da utilização da amostra completa – para manter os devidos pesos amostrais, os resultados seriam subestimados, dado que o questionamento quanto à adoção das tecnologias 4.0 não foi feito a 56% das empresas; e ii) quando da utilização da amostra contendo apenas as companhias possuidoras de setor de TI, o emprego dos pesos amostrais – calculados com base na totalidade das empresas – deixa de ponderar corretamente as observações.

Para tentar contornar tais adversidades, serão trabalhados três conjuntos de dados na análise econométrica, o primeiro deles contendo a amostra completa, com os respectivos pesos amostrais, e os dois complementares compostos apenas pelas empresas com setor de TI, um deles mantendo a aplicação dos pesos amostrais e o outro desconsiderando possíveis ponderações.

As tabelas 1 e 2 ilustram a composição das amostras supramencionadas para as variáveis binárias e categóricas, respectivamente.

TABELA 1
Estatísticas descritivas para variáveis binárias

Tecnologia	Resposta	Amostra completa		TI com peso		TI sem peso	
		Número	%	Número	%	Número	%
Processamento em nuvem	0	2.747	67,6	1.301	55,89	1.262	54,21
	1	1.147	28,22	952	40,9	1.005	43,17
	97-99	170	4,17	75	3,21	61	2,62
Big data	0	1.529	37,63	1.996	85,74	1.925	82,69
	1	254	6,26	332	14,26	403	17,31
	97-99	2.280	56,11	0	0	0	0
Robôs industriais	0	1.669	41,07	2.179	93,58	2.159	92,74
	1	92	2,25	120	5,14	136	5,84
	97-99	2.303	56,67	30	1,29	33	1,41

(Continua)

(Continuação)

Tecnologia	Resposta	Amostra completa		TI com peso		TI sem peso	
		Número	%	Número	%	Número	%
Robôs de serviço	0	1.725	42,46	2.252	96,74	2.235	96,01
	1	54	1,32	70	3,02	79	3,39
	97-99	2.285	56,22	6	0,25	14	0,6
Impressão em 3D	0	1.695	41,7	2.212	95,01	2.198	94,42
	1	89	2,19	116	4,99	130	5,58
	97-99	2.280	56,11	0	0	0	0
IoT	0	1.180	29,04	1.540	66,17	1.503	64,56
	1	586	14,41	764	32,83	796	34,19
	97-99	2.298	56,55	23	1,01	29	1,25
IA	0	3.539	87,09	1.643	70,59	1.551	66,62
	1	525	12,91	685	29,41	777	33,38
	97-99	0	0	0	0	0	0
Política de segurança digital	0	1.885	46,39	582	25,02	474	20,36
	1	1.986	48,86	1.627	69,87	1.794	77,06
	97-99	193	4,76	119	5,11	60	2,58

Fonte: CGI.Br (2022).
Elaboração dos autores.

Para calcular a quantidade de tecnologias 4.0 adotadas por cada empresa, e posteriormente para utilização de cada uma delas como variável dependente em modelos logit, as respostas de números 97, 98 e 99 foram substituídas por 0.

Para fins comparativos, em países da OCDE (Lange, Montagnier e Phillips, 2023), em média 45% das empresas usam computação em nuvem, 25% usam tecnologias IoT, 13% usam análise de *big data* e 7% usam IA. Nas empresas brasileiras, entre as tecnologias 4.0, o processamento em nuvem também lidera a adoção, conforme a tabela 1, porém com menos de 30%. Para as demais tecnologias, IoT e IA têm magnitudes parecidas, enquanto *big data* tem números pouco expressivos.

TABELA 2
Estatísticas descritivas para variáveis categóricas

Variável	Resposta	Amostra completa		TI com peso		TI sem peso	
		Número	%	Número	%	Número	%
Região	Norte	177	4,3	116	5,0	294	12,6
	Nordeste	623	15,3	351	15,1	333	14,3
	Sudeste	2.076	51,1	1.200	51,6	993	42,7
	Sul	856	21,1	446	19,2	412	17,7
	Centro-Oeste	332	8,2	215	9,2	296	12,7
CNAE	Indústria	789	19,4	414	17,8	393	16,9
	Construção	278	6,9	118	5,1	196	8,4
	Comércio	1.563	38,5	909	39,0	603	25,9
	Transporte	232	5,7	151	6,5	249	10,7
	Alojamento e alimentação	454	11,2	197	8,4	180	7,7
	Informação e comunicação	112	2,8	119	5,1	301	12,9
	Atividades imobiliárias, científicas e administrativas	532	13,1	364	15,6	234	10,1
	Artes, cultura e esportes	102	2,5	57	2,4	172	7,4
Porte (pessoas ocupadas)	10-49	3.564	87,7	1.854	79,7	1.127	48,4
	50-249	413	10,2	373	16,0	728	31,3
	250 ou mais	86	2,1	100	4,3	473	20,3
Ind4.0	0	2.465	60,6	785	33,7	710	30,5
	1	959	23,6	708	30,4	683	29,3
	2	338	8,3	441	18,9	486	20,9
	3	209	5,1	272	11,7	293	12,6
	4	75	1,9	98	4,2	127	5,5
	5	17	0,4	23	1,0	26	1,1
	6	1	0	1	0,1	3	0,1

Fonte: CGI.Br (2022).
Elaboração dos autores.

A tabela 2 realça diferenças expressivas entre os três conjuntos amostrais, principalmente entre a amostra completa e a amostra apenas com TI sem ponderação. Entre as alterações centrais, é possível destacar a perda de participação da região Sudeste e o ganho das regiões Norte e Centro-Oeste, além do forte aumento na porcentagem de médias e grandes empresas – nas quais a taxa de resposta ao questionário costuma ser maior. Ainda, há maior intensidade na participação dos CNAEs 4, 6 e 8, e diminuição nos CNAEs 3, 5 e 7. Por fim, com relação à soma das tecnologias 4.0, a restrição da amostra para empresas com setor de TI faz

crescer a participação de empresas que adotam uma ou mais tecnologias 4.0 – por exemplo, a porcentagem de empresas que adotam uma, duas e três tecnologias chega a saltar, respectivamente, de 23,6%, 8,3% e 5,1% para 29,3%, 20,9% e 12,6%, enquanto a proporção de empresas sem adoção das tecnologias cai de 60,6% para 30,5%.

As estimações econométricas são realizadas para os três conjuntos amostrais descritos anteriormente. De início, aplica-se um modelo linear generalizado tendo como variável dependente $Ind4.0$, conforme a tabela 2. Em seguida, cada uma das tecnologias 4.0 é colocada como variável dependente e seus determinantes são estimados por meio de modelos logit.[34] Por fim, utiliza-se de modelagem não paramétrica – árvores de decisão – para comparação com alguns dos resultados obtidos nas regressões paramétricas. Os modelos paramétricos foram estimados por meio do *software* Stata, e os não paramétricos por meio do *software* R.

As tabelas adiante apresentam os resultados para as diversas estimações. A numeração das colunas é referente a mudanças na base de dados utilizada, conforme se descreve:

- 1 e 2: amostra completa com a utilização de pesos para ponderar cada observação;
- 3 e 4: amostra reduzida com a utilização de pesos para ponderar cada observação; e
- 5 e 6: amostra reduzida sem a utilização de pesos.

A amostra reduzida é obtida mantendo-se apenas as empresas que respondem ter "uma área ou departamento de tecnologia da informação, TI, responsável, por exemplo, por sistemas, redes, desenvolvimentos e suporte".

A tabela 3 apresenta os resultados do modelo linear generalizado, tendo como variável dependente a soma de seis tecnologias 4.0.[35] Os coeficientes apresentados referem-se aos efeitos parciais médios de cada uma das variáveis explicativas sobre a média da variável dependente.[36]

34. As tecnologias robôs de serviço e impressão em 3D não apresentam modelos válidos, portanto seus resultados são omitidos. Por meio da análise descritiva, é possível perceber que a adoção de ambas é ainda muito baixa entre as empresas brasileiras.

35. Processamento em nuvem, *big data*, robôs de serviço, impressão em 3D, IoT e IA.

36. Foram feitas simulações incluindo também uma variável explicativa associada a parâmetros de conectividade das empresas – *e.g.* "b4a_31: nos últimos doze meses, qual a velocidade máxima para *download* contratada para conexão via fibra ótica?". Porém, tendo em vista que os resultados sofreram poucas alterações, além do possível risco de endogeneidade entre conectividade e tecnologias como computação em nuvem e IoT, optou-se por não manter tal variável na modelagem.

TABELA 3
Modelo linear generalizado dos determinantes da adoção de tecnologias 4.0

	Variável dependente: soma das tecnologias 4.0					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Segurança digital	0.819***		0.887***		0.855***	
	(0.06)		(0.10)		(0.07)	
Região						
Nordeste	-0.114	-0.076	-0.069	-0.007	-0.014	0.043
	(0.07)	(0.08)	(0.12)	(0.13)	(0.10)	(0.10)
Sudeste	-0.142*	-0.112	-0.139	-0.070	-0.113	-0.055
	(0.06)	(0.06)	(0.10)	(0.11)	(0.08)	(0.09)
Sul	-0.119	-0.093	0.054	0.098	-0.031	0.039
	(0.07)	(0.07)	(0.13)	(0.13)	(0.10)	(0.10)
Centro-Oeste	-0.047	0.022	-0.015	0.073	0.025	0.065
	(0.08)	(0.09)	(0.14)	(0.14)	(0.10)	(0.10)
Porte (pessoas ocupadas)						
50-249	0.166***	0.382***	-0.001	0.139	0.065	0.181**
	(0.04)	(0.05)	(0.07)	(0.07)	(0.06)	(0.06)
250 ou mais	0.446***	0.897***	0.253**	0.475***	0.285***	0.470***
	(0.06)	(0.07)	(0.08)	(0.09)	(0.07)	(0.08)
Mercado de atuação						
Construção	-0.018	-0.087	0.026	-0.020	-0.013	-0.044
	(0.06)	(0.06)	(0.12)	(0.12)	(0.11)	(0.11)
Comércio	0.016	0.022	-0.039	-0.027	-0.075	-0.063
	(0.06)	(0.06)	(0.11)	(0.12)	(0.08)	(0.08)
Transporte	0.094	0.103	0.022	0.030	0.098	0.096
	(0.07)	(0.07)	(0.12)	(0.13)	(0.10)	(0.10)
Alojamento e alimentação	-0.104	-0.175**	-0.183	-0.276	-0.276*	-0.351**
	(0.07)	(0.07)	(0.15)	(0.15)	(0.11)	(0.11)
Informação e comunicação	0.459***	0.761***	0.299**	0.419***	0.353***	0.451***
	(0.07)	(0.08)	(0.11)	(0.11)	(0.10)	(0.10)
Atividades imobiliárias, científicas e administrativas	0.099	0.234**	0.103	0.241	0.070	0.139
	(0.07)	(0.08)	(0.12)	(0.13)	(0.10)	(0.10)
Artes, cultura e esportes	0.034	0.060	-0.038	-0.004	0.012	0.032
	(0.06)	(0.07)	(0.12)	(0.13)	(0.11)	(0.12)
Número de empresas	4.064	4.064	2.328	2.328	2.328	2.328
Especificação (*linktest*)	Ok	-	-	-	Ok	Ok
LRT (GOF)	657.211***	781.167***	345.377***	374.759***	3.705***	3.920***

Fonte: CGI.BR (2022).
Elaboração dos autores.
Obs.: *** 0,1%; ** 1%; * 5%.

Dada a particularidade de construção da variável dependente, obtida pela soma de variáveis binárias representando tecnologias 4.0 individuais, o Stata não apresenta testes de qualidade de ajuste (GOF) concernentes a esse contexto. Recorre-se então ao teste proposto em Bellocco e Algeri (2013), aplicável a modelos lineares envolvendo regressores categóricos, que implementa um teste da razão de verossimilhança (LRT) baseado em estatísticas de desvio – ele compara, em termos de verossimilhança, o modelo sendo ajustado com o modelo saturado.[37] A rejeição da hipótese nula em todos os casos implica que os modelos não são tão bons quanto os respectivos modelos saturados.

Os resultados indicam, de forma geral, a relevância da segurança digital, das grandes empresas e do mercado de informação e comunicação como determinantes de maior adoção de tecnologias 4.0. Em termos de magnitude, quando inserida no modelo, a variável de segurança digital apresentou o maior coeficiente, enquanto grandes empresas e de CNAE 6 tiveram ordens de grandeza semelhantes. Sem a utilização de segurança digital, apenas o modelo 6 foi válido e trouxe significância adicional para o mercado de alojamento e alimentação, com influência negativa, quando comparada ao valor base (industrial), na aplicação das tecnologias 4.0.

Como forma de avaliação mais detalhada, procede-se com a estimação dos mesmos determinantes para cada uma das tecnologias 4.0 individualmente. Para tanto, utiliza-se um modelo logit, no qual a variável dependente refere-se à adoção ou não da respectiva tecnologia em cada uma das configurações de amostra e variáveis explicativas. As tabelas 4 a 8 exibem os resultados.[38]

As estimativas referem-se aos efeitos marginais médios das respectivas variáveis independentes binárias sobre a probabilidade esperada de a variável dependente (tecnologia 4.0) ser adotada, ou seja, assumir o valor unitário. Como todos os regressores são binários, omite-se uma categoria de cada grupo de variáveis que contemplam múltiplas categorias – região Norte, empresas pequenas e CNAE do setor industrial. Dentro de cada grupo, os efeitos marginais médios têm como base comparativa a categoria omitida na apresentação dos resultados.

A tabela 4 mostra os resultados para os determinantes da utilização de capacidade de processamento de nuvem pelas empresas.

37. É possível pensar no modelo saturado como aquele que leva à previsão perfeita do resultado e representa o maior modelo passível de ajuste – *i.e.*, é utilizado como referência para avaliação da adequação de qualquer outro modelo de interesse (Bellocco e Algeri, 2013).

38. Os testes Pearson de qualidade do ajuste no Stata só são passíveis de aplicação a estimações feitas sem a utilização de pesos amostrais. Nesse caso, os valores mostrados para os testes Pearson (GOF) nas amostras (1) e (2) são referentes às regressões estimadas sem a utilização de pesos, embora os coeficientes das variáveis explicativas tenham sido estimados com os pesos amostrais.

TABELA 4
Modelo logit dos determinantes da adoção de processamento em nuvem

	Variável dependente: adoção de processamento em nuvem					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Segurança digital	0.272***		0.246***		0.235***	
	(0.02)		(0.04)		(0.03)	
Região						
Nordeste	-0.025	-0.013	0.008	0.026	0.015	0.031
	(0.04)	(0.04)	(0.06)	(0.06)	(0.04)	(0.04)
Sudeste	-0.016	-0.007	0.054	0.074	0.053	0.069*
	(0.03)	(0.03)	(0.04)	(0.04)	(0.03)	(0.03)
Sul	-0.025	-0.018	0.079	0.090	0.041	0.060
	(0.03)	(0.03)	(0.05)	(0.05)	(0.04)	(0.04)
Centro-Oeste	-0.025	-0.003	-0.005	0.019	0.056	0.066
	(0.04)	(0.04)	(0.06)	(0.06)	(0.04)	(0.04)
Porte (pessoas ocupadas)						
50-249	0.026	0.099***	0.002	0.044	0.025	0.061*
	(0.02)	(0.02)	(0.03)	(0.03)	(0.02)	(0.02)
250 ou mais	0.066**	0.195***	0.032	0.092**	0.058*	0.111***
	(0.02)	(0.03)	(0.03)	(0.03)	(0.03)	(0.03)
Mercado de atuação						
Construção	0.029	0.000	0.054	0.037	0.050	0.039
	(0.03)	(0.03)	(0.06)	(0.05)	(0.04)	(0.04)
Comércio	-0.013	-0.010	0.019	0.020	0.012	0.014
	(0.03)	(0.03)	(0.05)	(0.05)	(0.03)	(0.03)
Transporte	0.038	0.043	0.033	0.034	0.060	0.060
	(0.03)	(0.03)	(0.05)	(0.05)	(0.04)	(0.04)
Alojamento e alimentação	-0.048	-0.075*	-0.062	-0.091	-0.073	-0.097*
	(0.03)	(0.03)	(0.06)	(0.06)	(0.04)	(0.04)
Informação e comunicação	0.130***	0.223***	0.116*	0.149**	0.142***	0.168***
	(0.03)	(0.04)	(0.05)	(0.05)	(0.04)	(0.04)
Atividades imobiliárias, científicas e administrativas	0.072*	0.130***	0.137**	0.179***	0.105**	0.127**
	(0.03)	(0.04)	(0.05)	(0.05)	(0.04)	(0.04)
Artes, cultura e esportes	0.020	0.031	0.014	0.023	0.055	0.060
	(0.03)	(0.03)	(0.05)	(0.05)	(0.05)	(0.05)
Número de empresas	4.064	4.064	2.328	2.328	2.328	2.328
Especificação (*linktest*)	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Pearson (GOF)	215.24	107.36			225.04	115.55

Fonte: CGI.BR (2022).
Elaboração dos autores.
Obs.: *** 0,1%; ** 1%; * 5%.

As variáveis mais significativas do modelo são a existência de política de segurança digital, porte de grande empresa e pertencimento aos mercados de informação e comunicação, e atividades imobiliárias, profissionais, científicas, técnicas, administrativas e de serviços complementares. A título de exemplo, no modelo (1), dispor de uma política de segurança digital aumenta a probabilidade de adoção de processamento em nuvem em aproximadamente 27% em empresas quando comparado a não ter. De forma complementar, o fato de uma empresa ter 250 ou mais funcionários eleva de 6% a 20%, a depender do modelo, a probabilidade de pagamento por serviço de capacidade de processamento em nuvem em comparação a empresas de até 50 funcionários.

Os resultados quanto aos fatores que impactam a utilização de análises de *big data* são apresentados na tabela 5. Nesse caso, apenas os modelos (1) e (6) são válidos se considerado o teste de especificação a 5%. Observando 10%, o modelo (2) também passa a ser válido.

TABELA 5
Modelo logit dos determinantes da adoção de análises de *big data*

	Variável dependente: adoção de análises de *big data*					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Segurança digital	0.150***		0.235***		0.231***	
	(0.02)		(0.04)		(0.03)	
Região						
Nordeste	-0.008	-0.003	-0.006	0.008	0.019	0.034
	(0.02)	(0.02)	(0.04)	(0.04)	(0.03)	(0.03)
Sudeste	-0.001	0.002	0.000	0.016	-0.011	0.003
	(0.01)	(0.01)	(0.03)	(0.03)	(0.03)	(0.03)
Sul	0.005	0.008	0.033	0.043	0.023	0.039
	(0.02)	(0.02)	(0.04)	(0.03)	(0.03)	(0.03)
Centro-Oeste	0.008	0.018	0.015	0.035	0.021	0.030
	(0.02)	(0.02)	(0.04)	(0.04)	(0.03)	(0.03)
Porte (pessoas ocupadas)						
50-249	0.031**	0.069***	0.014	0.045*	0.029	0.053**
	(0.01)	(0.01)	(0.02)	(0.02)	(0.02)	(0.02)
250 ou mais	0.070***	0.156***	0.052*	0.104***	0.070**	0.113***
	(0.01)	(0.02)	(0.02)	(0.03)	(0.02)	(0.02)
Mercado de atuação						
Construção	-0.025	-0.031*	-0.053	-0.061	-0.061*	-0.067*
	(0.01)	(0.01)	(0.04)	(0.04)	(0.03)	(0.03)

(Continua)

(Continuação)

	Variável dependente: adoção de análises de *big data*					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Mercado de atuação						
Comércio	0.007	0.008	-0.008	-0.008	0.006	0.007
	(0.02)	(0.02)	(0.04)	(0.04)	(0.02)	(0.02)
Transporte	0.031	0.032	0.045	0.045	0.062*	0.061
	(0.02)	(0.02)	(0.04)	(0.04)	(0.03)	(0.03)
Alojamento e alimentação	-0.035*	-0.040**	-0.082*	-0.094**	-0.048	-0.063*
	(0.01)	(0.01)	(0.04)	(0.03)	(0.03)	(0.03)
Informação e comunicação	0.045**	0.091***	0.016	0.040	0.031	0.051
	(0.02)	(0.02)	(0.03)	(0.04)	(0.03)	(0.03)
Atividades imobiliárias, científicas e administrativas	-0.022	-0.011	-0.068*	-0.051	-0.053	-0.043
	(0.01)	(0.02)	(0.03)	(0.04)	(0.03)	(0.03)
Artes, cultura e esportes	-0.014	-0.011	-0.049	-0.044	-0.043	-0.039
	(0.02)	(0.02)	(0.04)	(0.04)	(0.03)	(0.03)
Número de empresas	4.064	4.064	2.328	2.328	2.328	2.328
Especificação (*linktest*)	Ok	-10%	-10%	-	Ok	Ok
Pearson (GOF)	241.68*	121.25			236.21*	123.65

Fonte: CGI.BR (2022).
Elaboração dos autores.
Obs.: *** 0,1%; ** 1%; * 5%.

Comum aos modelos (1), (2) e (6), a execução de análises de *big data* é influenciada pelo porte da empresa – as médias e grandes têm maior probabilidade de adoção, em relação às pequenas –, e negativamente pelo setor de alojamento e alimentação, no qual as probabilidades são de 3% a 6% menores em comparação ao setor industrial. Novamente, a presença de uma política de segurança digital é responsável pelo coeficiente de maior magnitude a influenciar positivamente a probabilidade de utilização de *big data*.

A tabela 6 é referente aos resultados para o emprego de robôs industriais, os quais validam apenas os modelos (5) e (6). Nesse cenário, o destaque quanto aos principais determinantes relaciona-se ao mercado de atuação das empresas. Como a categoria omitida na variável CNAE é justamente a do setor industrial, todas as outras são negativas e estatisticamente significativas, realçando que a utilização de robôs industriais é particularmente presente na indústria de transformação. Ainda, a presença de política de segurança digital também eleva ligeiramente a probabilidade de adoção de robôs industriais, enquanto a sua retirada do modelo torna significativa a variável de grandes empresas, também positiva e de baixa magnitude.

TABELA 6
Modelo logit dos determinantes da adoção de robôs industriais

	Variável dependente: adoção de robôs industriais					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Segurança digital	0.033***		0.037*		0.034*	
	(0.01)		(0.02)		(0.01)	
Região						
Nordeste	-0.004	-0.003	-0.003	-0.001	-0.002	-0.000
	(0.01)	(0.01)	(0.02)	(0.02)	(0.02)	(0.02)
Sudeste	0.001	0.002	0.007	0.008	-0.001	0.001
	(0.01)	(0.01)	(0.02)	(0.02)	(0.02)	(0.02)
Sul	-0.005	-0.004	-0.001	0.001	-0.004	-0.001
	(0.01)	(0.01)	(0.02)	(0.02)	(0.02)	(0.02)
Centro-Oeste	0.019	0.021	0.044	0.049	-0.000	0.002
	(0.02)	(0.02)	(0.03)	(0.04)	(0.02)	(0.02)
Porte (pessoas ocupadas)						
50-249	0.012	0.023**	-0.002	0.004	-0.000	0.004
	(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0.01)
250 ou mais	0.040***	0.073***	0.032*	0.046**	0.025	0.033*
	(0.01)	(0.01)	(0.02)	(0.02)	(0.01)	(0.01)
Mercado de atuação						
Construção	-0.051***	-0.051***	-0.129***	-0.129***	-0.160***	-0.159***
	(0.01)	(0.01)	(0.03)	(0.03)	(0.02)	(0.02)
Comércio	-0.044***	-0.042***	-0.119***	-0.117***	-0.151***	-0.150***
	(0.01)	(0.01)	(0.03)	(0.03)	(0.02)	(0.02)
Transporte	-0.042***	-0.041***	-0.115***	-0.114***	-0.151***	-0.150***
	(0.01)	(0.01)	(0.03)	(0.03)	(0.02)	(0.02)
Alojamento e alimentação	-0.039**	-0.040**	-0.100**	-0.103**	-0.153***	-0.154***
	(0.01)	(0.01)	(0.04)	(0.03)	(0.02)	(0.02)
Informação e comunicação	-0.049***	-0.044***	-0.135***	-0.132***	-0.164***	-0.162***
	(0.01)	(0.01)	(0.03)	(0.03)	(0.02)	(0.02)
Atividades imobiliárias, científicas e administrativas	-0.051***	-0.048***	-0.133***	-0.130***	-0.165***	-0.164***
	(0.01)	(0.01)	(0.03)	(0.03)	(0.02)	(0.02)
Artes, cultura e esportes	-0.040***	-0.037**	-0.108***	-0.105***	-0.133***	-0.132***
	(0.01)	(0.01)	(0.03)	(0.03)	(0.03)	(0.03)
Número de empresas	4.064	4.064	2.328	2.328	2.328	2.328
Especificação (*linktest*)	-	-	-	-	Ok	Ok
Pearson (GOF)	228.07	99.53			210.56	94.80

Fonte: CGI.BR (2022).
Elaboração dos autores.
Obs.: *** 0,1%; ** 1%; * 5%.

A IoT como variável dependente é exposta na tabela 7. Ao nível de significância de 10%, validam-se os modelos (2), (4), (5) e (6).

TABELA 7
Modelo logit dos determinantes da adoção de IoT

	Variável dependente: adoção de IoT					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Segurança digital	0.170***		0.163***		0.157***	
	(0.02)		(0.04)		(0.02)	
Região						
Nordeste	-0.005	0.003	0.038	0.051	-0.009	0.004
	(0.03)	(0.03)	(0.06)	(0.06)	(0.04)	(0.04)
Sudeste	-0.066**	-0.060**	-0.108**	-0.093*	-0.118***	-0.106**
	(0.02)	(0.02)	(0.04)	(0.04)	(0.03)	(0.03)
Sul	-0.031	-0.026	0.000	0.008	-0.047	-0.033
	(0.03)	(0.03)	(0.05)	(0.05)	(0.04)	(0.04)
Centro-Oeste	0.005	0.024	0.025	0.044	-0.051	-0.042
	(0.03)	(0.04)	(0.06)	(0.06)	(0.04)	(0.04)
Porte (pessoas ocupadas)						
50 - 249	0.042**	0.089***	-0.024	0.001	0.007	0.029
	(0.02)	(0.02)	(0.03)	(0.03)	(0.02)	(0.02)
250 ou mais	0.122***	0.224***	0.042	0.082*	0.041	0.076**
	(0.02)	(0.03)	(0.03)	(0.03)	(0.03)	(0.03)
Mercado de atuação						
Construção	-0.003	-0.016	0.023	0.012	0.009	0.002
	(0.02)	(0.02)	(0.05)	(0.05)	(0.04)	(0.04)
Comércio	0.053*	0.054*	0.067	0.066	0.020	0.021
	(0.02)	(0.02)	(0.04)	(0.05)	(0.03)	(0.03)
Transporte	0.019	0.019	-0.006	-0.006	-0.001	-0.002
	(0.02)	(0.02)	(0.05)	(0.05)	(0.04)	(0.04)
Alojamento e alimentação	0.032	0.012	0.076	0.052	0.048	0.028
	(0.03)	(0.02)	(0.06)	(0.06)	(0.04)	(0.04)
Informação e comunicação	0.177***	0.248***	0.151***	0.171***	0.162***	0.179***
	(0.03)	(0.03)	(0.04)	(0.04)	(0.04)	(0.04)
Atividades imobiliárias, científicas e administrativas	0.041	0.066*	0.054	0.077	0.040	0.053
	(0.02)	(0.03)	(0.05)	(0.05)	(0.04)	(0.04)
Artes, cultura e esportes	0.046	0.051*	0.068	0.072	0.073	0.076
	(0.02)	(0.02)	(0.05)	(0.05)	(0.04)	(0.04)
Número de empresas	4.064	4.064	2.328	2.328	2.328	2.328
Especificação (*linktest*)	-	Ok	-	-10%	Ok	-10%
Pearson (GOF)	191.63	106.05			182.73	94.38

Fonte: CGI.BR (2022).
Elaboração dos autores.
Obs.: *** 0,1%; ** 1%; * 5%.

Os resultados comuns aos quatro modelos são a significância estatística do CNAE 6, o qual aumenta a probabilidade de utilização de dispositivos ou sistemas interconectados em valores da ordem de 15% a 25%, em comparação ao setor industrial, e a região Sudeste, na qual o impacto na probabilidade assume valores negativos, tendo o Norte como base de comparação. A depender da amostra, segurança digital e empresas médias e grandes também podem elevar a probabilidade de existir IoT nas empresas brasileiras.

Por fim, a tabela 8 traz os determinantes para a adoção em empresas brasileiras de tecnologias que abarcam IA.[39] Os modelos válidos, de acordo com os testes de especificação e ajuste de medida a 10% de significância estatística, são: (1), (2), (5) e (6).

TABELA 8
Modelo logit dos determinantes da adoção de IA

	Variável dependente: IA					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Segurança digital	0.182***		0.210***		0.179***	
	(0.02)		(0.04)		(0.03)	
Região						
Nordeste	-0.058*	-0.048	-0.080	-0.063	-0.020	-0.006
	(0.03)	(0.03)	(0.05)	(0.05)	(0.04)	(0.04)
Sudeste	-0.041	-0.032	-0.059	-0.041	-0.027	-0.014
	(0.02)	(0.02)	(0.04)	(0.04)	(0.03)	(0.03)
Sul	-0.055*	-0.047*	-0.056	-0.043	-0.031	-0.016
	(0.02)	(0.02)	(0.05)	(0.05)	(0.04)	(0.04)
Centro-Oeste	-0.041	-0.027	-0.070	-0.049	0.010	0.018
	(0.03)	(0.03)	(0.05)	(0.05)	(0.04)	(0.04)
Porte (pessoas ocupadas)						
50-249	0.048**	0.098***	-0.002	0.031	0.007	0.032
	(0.01)	(0.02)	(0.03)	(0.03)	(0.02)	(0.02)
250 ou mais	0.132***	0.245***	0.077*	0.130***	0.080**	0.120***
	(0.02)	(0.02)	(0.03)	(0.03)	(0.03)	(0.03)
Mercado de atuação						
Construção	-0.004	-0.019	0.024	0.010	0.005	-0.003
	(0.02)	(0.02)	(0.05)	(0.05)	(0.04)	(0.04)

(Continua)

39. Texto elaborado pelos autores com versão ligeiramente modificada do modelo que foi aprovado no 51º Encontro Nacional da Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia (Anpec). Disponível em: https://www.anpec.org.br/encontro/2023/submissao/files_I/i9-78cd206a24f36dd6bff2bee24849a185.docx. Acesso em: 20 set. 2023.

(Continuação)

	Variável dependente: IA					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Mercado de atuação						
Comércio	-0.006	-0.005	-0.057	-0.055	-0.026	-0.024
	(0.02)	(0.02)	(0.04)	(0.04)	(0.03)	(0.03)
Transporte	0.028	0.031	0.014	0.014	0.056	0.055
	(0.02)	(0.02)	(0.05)	(0.05)	(0.04)	(0.04)
Alojamento e alimentação	-0.036	-0.049*	-0.081	-0.103	-0.111**	-0.126**
	(0.02)	(0.02)	(0.06)	(0.05)	(0.04)	(0.04)
Informação e comunicação	0.120***	0.194***	0.067	0.095*	0.081*	0.101**
	(0.03)	(0.03)	(0.05)	(0.05)	(0.04)	(0.04)
Atividades imobiliárias, científicas e administrativas	0.033	0.065*	0.031	0.065	0.040	0.055
	(0.02)	(0.03)	(0.05)	(0.05)	(0.04)	(0.04)
Artes, cultura e esportes	0.015	0.021	0.003	0.010	0.012	0.015
	(0.02)	(0.02)	(0.05)	(0.05)	(0.05)	(0.04)
Número de empresas	4.064	4.064	2.328	2.328	2.328	2.328
Especificação (*linktest*)	Ok	-10%	-	-	Ok	Ok
Pearson (GOF)	201.69	117.02			206.28	124.52

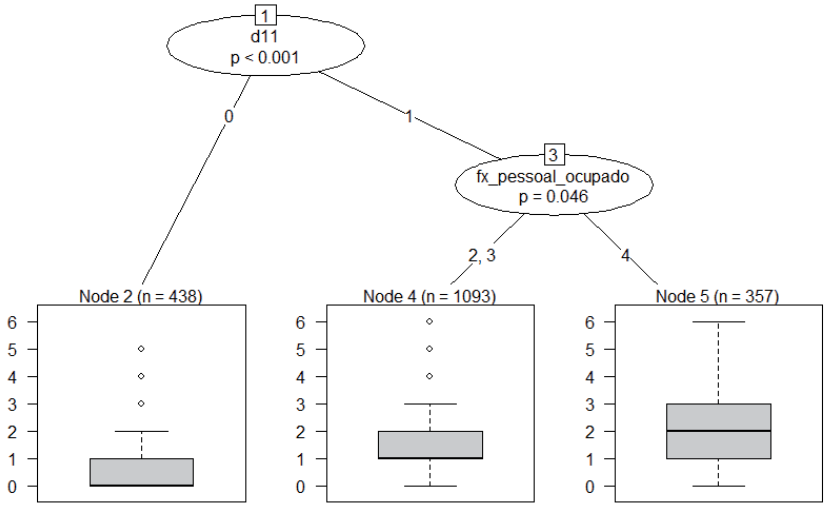
Fonte: CGI.BR (2022).
Elaboração dos autores.
Obs.: *** 0,1%; ** 1%; * 5%.

Os resultados significativos que se repetem nos quatro modelos válidos colocam três variáveis como mais relevantes para explicar a opção pelo uso de IA: a implementação de uma política de segurança digital, o porte das empresas com 250 ou mais pessoas ocupadas e o pertencimento ao CNAE de informação e comunicação. Esse conjunto de variáveis tem influência positiva sobre a variável dependente. A significância do setor de informação e comunicação apresenta semelhanças com o cenário de países da OCDE, nos quais a adoção da IA está concentrada nos serviços de informação e comunicação (Lange, Montagnier e Phillips, 2023).

4.1 Estimação não paramétrica

As figuras 3 e 4 ilustram os resultados das estimações não paramétricas. Enquanto a variável dependente é dada pela soma das tecnologias 4.0, as variáveis independentes compreendem região, porte, mercado de atuação (CNAE) e, apenas para a figura 3, política de segurança digital. A base de dados a partir da qual elas são realizadas refere-se às empresas com setor de TI e sem a utilização de pesos amostrais – há comparabilidade entre os resultados apresentados a seguir com aqueles das colunas (5) e (6) da tabela 3. A amostra foi particionada em 80% para teste e 20% para validação.

FIGURA 3
Estimação não paramétrica para determinantes de adoção de tecnologias 4.0: com segurança digital

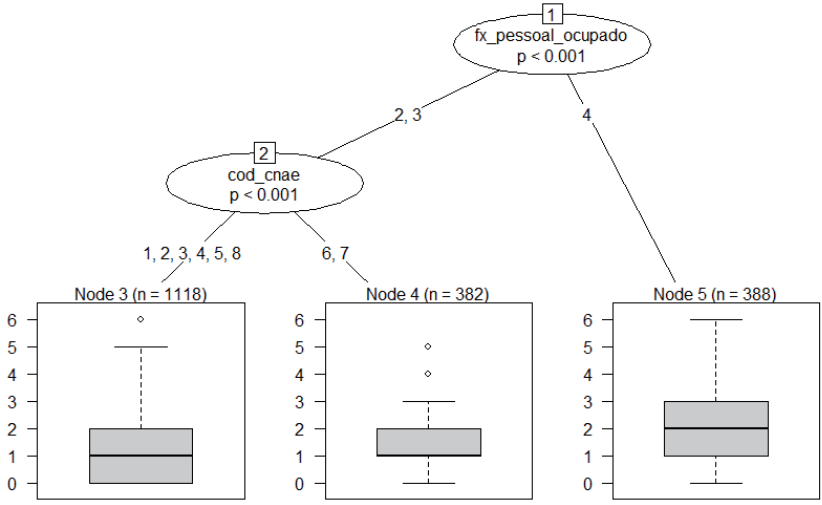


Fonte: CGI.BR (2022).
Elaboração dos autores.
Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

A análise da figura 3 permite destacar a existência de política de segurança digital (d11) como a variável mais significativa – primeira divisão binária – para determinar a adoção de tecnologias 4.0, com significância estatística de 0,1%. O ramo com o valor nulo para a segurança digital já leva a um nó folha (2) composto por 438 empresas com baixa adoção de tecnologias 4.0 – mediana em 0 e quartis entre 0 e 2. O ramo com empresas que possuem política de segurança digital leva ao nó interno de porte da empresa (fx_pessoal_ocupado), significativo a 5%. A partir de então, a subdivisão é feita à esquerda por empresas pequenas e médias e à direita pelas grandes. Enquanto o nó folha 4, com 1.093 observações, indica adoção de tecnologias 4.0 mais elevada – mediana em 1 e quartis entre 0 e 3 – quando comparado ao nó folha 2, ela ainda é inferior àquela das grandes empresas, presentes no nó folha 5 com 357 elementos, os quais têm mediana na adoção de duas tecnologias 4.0 e quartis em todo o intervalo da escala.

No cenário da figura 3, as variáveis referentes à região e ao mercado de atuação das empresas não se mostraram estatisticamente significantes. Nos nós folha de números 2 e 4, há ainda a presença de *outliers* que, mesmo inseridos em grupos nos quais a adoção de tecnologias 4.0 é baixa, diferenciam-se ao adotar até cinco (nó 2) ou seis (nó 4) tecnologias.

FIGURA 4
Estimação não paramétrica para determinantes de adoção de tecnologias 4.0: sem segurança digital



Fonte: CGI.BR (2022).
Elaboração dos autores.
Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

De acordo com a figura 4, ao não considerar a política de segurança digital como variável explicativa, o nó raiz da árvore passa a ser ocupado pelo porte da empresa, significativo a 0,1%, o qual divide-se novamente entre PMEs à esquerda e grandes à direita. O ramo das pequenas e médias atinge um nó interno dado pelo mercado de atuação, que desemboca no nó folha 4, composto pelos CNAEs de informação e comunicação (6), atividades mobiliárias, científicas e administrativas (7), e no nó folha 3 pelos demais CNAEs. Embora os nós 3 e 4 tenham mediana no valor unitário, a adoção de tecnologias 4.0 é ligeiramente superior no nó 4 pela concentração do segundo e terceiro quartis entre uma e duas tecnologias.[40] A adoção mais intensa de tecnologias 4.0 novamente é determinada pelo porte de grandes empresas, o qual, conforme o nó folha 5, tem mediana em duas tecnologias e quarto quartil variando entre três e seis tecnologias.

5 DISCUSSÃO

A partir das estimações paramétrica e não paramétrica, ainda que haja diversas especificidades de resultados a depender das amostras ou técnicas utilizadas,

40. Apesar disso, o quarto quartil é mais elevado no nó 3, variando entre duas e cinco tecnologias, enquanto no nó 4 varia entre duas e três tecnologias.

destaca-se a relevância de duas variáveis, em especial, para influenciar positivamente a probabilidade de adoção de tecnologias 4.0 em empresas brasileiras: a existência de uma política de segurança digital e o porte da empresa – com 250 ou mais pessoas ocupadas. Além disso, embora mais restrita conforme a base amostral e a variável dependente, o mercado de atuação de informação e comunicação merece menção especial como setor no qual a adoção de tecnologias 4.0 é superior aos demais mesmo em empresas de menor porte.

Questões relacionadas à segurança digital não são exclusivas do âmbito das empresas. Na medida em que indivíduos, organizações e governos tornaram-se dependentes de dispositivos e tecnologias baseados em conectividade – os quais podem proporcionar oportunidades para melhorar a vida e o bem-estar das pessoas (Lange, Montagnier e Phillips, 2023), eles passaram também a estar mais suscetíveis a ameaças cibernéticas. Nesse contexto, a capacidade de proteção contra tais ataques tem se tornado preocupação relevante (WEF, 2023).

Na esfera empresarial, discussões sobre o papel cada vez mais importante de uma política de segurança digital para estruturar a digitalização das empresas têm ocupado extenso espaço na literatura.[41] Apesar disso, ainda pairam muitas dúvidas em termos de conscientização e da melhor forma de implementar estratégias. Segundo WEF e Accenture (2023, p. 4, tradução nossa), baseado em uma pesquisa com 117 respondentes de 32 países e 22 indústrias,

> os líderes de negócios estão mais conscientes dos problemas de cibersegurança de suas organizações do que estavam há um ano. Eles também estão mais dispostos a lidar com esses riscos. No entanto, os líderes de cibersegurança ainda têm dificuldade em expressar claramente o risco que as questões de cibersegurança representam para suas organizações em uma linguagem que seus colegas de negócios compreendam plenamente e possam agir. Como resultado, chegar a um acordo sobre a melhor forma de lidar com o risco cibernético continua sendo um desafio para os líderes organizacionais.[42]

No Brasil, preocupações quanto à cibersegurança parecem mais incipientes. Dados da pesquisa CNI (2022) apontam para divergências frente aos resultados internacionais na medida em que riscos para a segurança da informação ocupam apenas a oitava posição entre as principais barreiras internas que dificultam a adoção de tecnologias digitais em empresas. Ainda, entre os anos de 2016 e 2021, houve queda de 8% para 6% no percentual de respondentes que identificaram a relevância da segurança digital como barreira interna.

---

41. Para uma caracterização de trabalhos que analisaram o tema de segurança cibernética no contexto da indústria 4.0, ver Azambuja e Almeida (2021).

42. "*Business leaders are more aware of their organizations' cyber issues than they were a year ago. They are also more willing to address those risks. Nonetheless, cyber leaders still struggle to clearly articulate the risk that cyber issues pose to their organizations in a language that their business counterparts fully understand and can act upon. As a result, agreeing on how best to address cyber risk remains a challenge for organizational leaders*."

Uma das explicações para o aparente pouco interesse no tema da segurança digital entre empresários brasileiros pode ser associado justamente à baixa maturidade da indústria 4.0 no país, de tal forma que os possíveis riscos advindos de sistemas ciberfísicos, tecnologias 4.0, entre outros, ainda não foram passíveis de dimensionamento. Porém, conforme os resultados deste trabalho, possuir uma política de segurança digital é uma das características mais relevantes para que as empresas procedam com a adoção de tecnologias digitais – ou seja, consigam se inserir no processo de transformação digital.

Conforme os resultados dos modelos econométricos, é possível sugerir que a capacidade de implementação de uma política de segurança digital tenha relação com o porte da empresa, na medida em que quando a variável referente à segurança é retirada do modelo, a variável referente ao porte (médias e grandes empresas) cresce em magnitude. Nesse sentido, empresas maiores teriam menos restrições para desenvolver as próprias políticas de segurança digital. A avaliação de tais restrições segue nos parágrafos adiante, quando da análise da influência do porte das empresas sobre a adoção de tecnologias 4.0.

Com relação aos reflexos da segurança digital sobre o mercado de trabalho, a literatura brasileira mostra sinais de ter captado a pertinência do tema. Segundo NEO (2021), a profissão de analista de segurança cibernética foi citada por especialistas como emergente no momento de recuperação verde pós-pandemia. De forma adicional, Kipper *et al.* (2021) colocaram conhecimentos em tópicos relacionados à segurança digital como uma das necessidades dos profissionais durante o processo de qualificação para postos de trabalho da indústria 4.0.

Além da política de segurança digital, as grandes empresas – aquelas com 250 ou mais funcionários, têm probabilidade maior de adotar tecnologias digitais.[43] A distinção quanto à adoção de tecnologias 4.0 por empresas de grande porte confirma indicativos de pesquisas realizadas no âmbito nacional – por exemplo, Abimaq e NEO, 2021; CGEE, 2021; CNI, 2016 –, envolvendo os principais desafios para a inserção das PMEs no processo de transformação digital. Altos custos de implementação e falta de trabalhadores qualificados são as principais barreiras interna e externa, respectivamente.

A influência do porte da empresa sobre o nível de adoção de tecnologias digitais é explicitamente abordada também em CNI (2022, p. 9) , corroborando os resultados deste trabalho. Segundo a pesquisa, "quanto maior o porte, maior o uso de pelo menos uma tecnologia digital". Num universo de dezoito tecnologias, entre as grandes, médias e pequenas empresas que adotam ao menos uma, as

43. Embora com ressalvas quanto aos critérios de mensuração e comparabilidade entre empresas de diferentes portes, essa situação é semelhante no cenário internacional. Segundo Lange, Montagnier e Phillips (2023), empresas maiores tendem a ter maior probabilidade em adotar novas tecnologias, incluindo computação em nuvem, IoT, *big data* e IA.

porcentagens são de, respectivamente, 86%, 64% e 42%. Além disso, há relação direta entre o porte e a quantidade de tecnologias adotadas ou o "percentual de empresas que utilizam até seis tecnologias entre as empresas de grande porte é cerca de uma vez e meia maior quando comparado com a utilização entre as de pequeno porte" (CNI, 2022, p. 9).

Tais barreiras insinuam reflexos diretos das dificuldades de acesso a incentivos/financiamentos, as quais acometem sobretudo as MPMEs. Um exemplo na literatura é Veiga e McCahery (2019), que caracterizaram o *gap* de financiamento para PMEs como substancial entre 2014 e 2016 no Brasil. Em estudo complementar, Netto *et al*. (2021) levantam a hipótese de uma espécie de ciclo vicioso no qual as MPMEs têm dificuldades em fornecer informações, documentos e garantias para as instituições financeiras, fazendo com que sejam empurradas a modalidades de crédito com condições inadequadas e elevadas taxas de juros. Ao contribuir para maior inadimplência, isso reforça "a elevada percepção de risco do segmento por parte das instituições financeiras" (Netto *et al*., 2021, p. 30).

Grandes empresas, por sua vez, apresentam vantagens comparativas nesse contexto – por exemplo, estrutura de capital que permite a utilização de recursos próprios, posse de detalhes quanto a informações e garantias capazes de tornar a relação com instituições financeiras sujeitas a menos desconfiança –, as quais influenciam positivamente a capacidade de investimento em novas tecnologias e mão de obra qualificada para desenvolver os processos de transformação digital.

De uma perspectiva mais abrangente, a atuação governamental com objetivo no relaxamento de restrições, como acesso a crédito, para além das organizações de grande porte, dialoga com a proposta contida em Rodrik (2022), a qual enfatiza o eminente papel desempenhado pelas PMEs como pontos focais em um novo arcabouço de política industrial. O autor defende políticas industriais com foco em empregos de qualidade, que não serão gerados majoritariamente no setor manufatureiro. Por isso a importância do setor de serviços, no qual predominam as firmas de menor porte.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho objetivou descrever os principais conceitos associados ao tema da indústria 4.0 e avaliar, a partir de dados da pesquisa TIC Empresas 2021, possíveis determinantes da adoção de tecnologias 4.0 por empresas brasileiras. Para tanto, partiu-se de uma revisão bibliográfica inicialmente abrangente, para então detalhar as iniciativas locais contempladas pela Câmara I4.0. Por fim, por meio da estimação de modelos paramétricos e não paramétricos, foram destacadas características das empresas com influência significativa sobre processos de digitalização.

A análise de literatura apontou para dificuldades estruturais do Brasil diante das principais potências tecnológicas no que diz respeito à solidez da indústria 4.0, mas também trouxe iniciativas importantes fomentadas pelo poder público, com destaque para a e-Digital e para o Plano Nacional de Internet das Coisas. Com relação aos principais resultados das estimações dos modelos, duas variáveis tiveram proeminência para explicar a adoção de tecnologias digitais: a existência de uma política de segurança digital e o fato de uma empresa ter 250 ou mais funcionários. Reforça-se, assim, que a transformação digital tem sido um processo em parte restrito às grandes empresas, as quais têm menos dificuldade em acessar o conhecimento técnico necessário, bem como mão de obra qualificada e financiamento adequado.

Embora diversas iniciativas interessantes tenham foco em promover a transformação digital nas PMEs brasileiras, como a Jornada da Transformação Digital, esse é um processo relativamente lento, que aparenta exigir incentivos adicionais das esferas pública e privada. Em especial, destaca-se a necessidade de facilitação de financiamento para acessar novas tecnologias em termos monetários, mas também uma carência na atualização dos respectivos modelos de negócio das empresas, os quais, com frequência, se mostram engessados ante as cada vez mais aceleradas mudanças tecnológicas. Não menos importante, a lacuna de profissionais qualificados exige um debate mais profundo sobre o sistema educacional e suas possibilidades de suprir a demanda necessária para tornar o Brasil um *player* significativo no contexto da quarta revolução industrial.

Este estudo baseou-se exclusivamente em informações da TIC Empresas 2021. Estudos futuros, no entanto, podem utilizar o cruzamento com outras bases de dados, como a Relação Anual de Informações Sociais (Rais).

REFERÊNCIAS

ABIMAQ – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS; NEO – NÚCLEO DE ENGENHARIA ORGANIZACIONAL. **Indústria 4.0**: transformação digital e inovação de modelos de negócio na indústria de máquinas e equipamentos. Rio de Janeiro: Abimaq; NEO, 2021. Disponível em: https://camara40.com.br/wp-content/uploads/2021/06/Relatorio-Geral-ABIMAQ-Final-R05.pdf. Acesso em: 3 fev. 2023.

AHMI, A.; ELBARDAN, H.; RAJA MOHD ALI, R. H. Bibliometric analysis of published literature on Industry 4.0. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS, INFORMATION, AND COMMUNICATION (ICEIC), 18., 2019. **Proceedings**… Auckland, New Zealand. Auckland: IEEE, 2019. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/8706445/. Acesso em: 8 fev. 2023.

ARBIX, G. *et al*. O Brasil e a nova onda de manufatura avançada: o que aprender com Alemanha, China e Estados Unidos. **Novos Estudos**, v. 36, n. 3, p. 29-49, 2017.

AZAMBUJA, A. J. G. D.; ALMEIDA, V. R. Um estudo bibliométrico das publicações sobre segurança cibernética na indústria 4.0. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, 2021.

BELLOCCO, R.; ALGERI, S. Goodness-of-fit tests for categorical data. **The Stata Journal**, v. 13, n. 2, p. 356-365, 2013.

CAIRA, C.; PERSET, K. **The future of artificial intelligence**: working party on artificial intelligence governance. Paris: OECD, 2023.

CGEE – CENTRO DE GESTÃO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Diagnóstico e contextualização do arcabouço normativo para a implementação da Indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: CGEE, 2020. (Nota Técnica). Disponível em: https://camara40.com.br/wp-content/uploads/2021/04/Nota-Te%CC%81cnica-Normalizac%CC%A7a%CC%83o-Industria-4.0.pdf. Acesso em: 22 fev. 2023.

_____. **Percepção das empresas sobre a normalização técnica para a indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: CGEE, 2021. (Nota Técnica). Disponível em: https://camara40.com.br/wp-content/uploads/2021/04/Nota-Tecnica-2-Normalizacao-tecnica-R01.pdf. Acesso em: 17 fev. 2023.

_____. **Segmentos ou nichos com maior potencial para o desenvolvimento tecnológico nacional**. Brasília: CGEE, 2022. (Nota Técnica). Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivo-camara-industria/iniciativas/ci_nt_nicho_tec_nac.pdf. Acesso em: 1º mar. 2023.

CGEE – CENTRO DE GESTÃO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS; MCTI – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Estratégia Brasileira para a Transformação Digital (e-Digital)**: ciclo 2022-2026. Brasília: CGEE; MCTI, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivosestrategiadigital/e-digital_ciclo_2022-2026.pdf. Acesso em: 18 nov. 2022.

CGI.BR – COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL. **Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nas empresas brasileiras**: TIC Empresas 2021. São Paulo: CGI.Br, 2022. Disponível em: https://cetic.br/pt/publicacao/pesquisa-sobre-o-uso-das-tecnologias-de-informacao-e-comunicacao-nas-empresas-brasileiras-tic-empresas-2021/. Acesso em: 17 mar. 2023.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Especial survey**: Industry 4.0 – CNI Indicators. Brasília: CNI, 2016. Disponível em: http://elais.inf.utfsm.cl/wp-content/uploads/2017/08/t-ir-travassos-special_survey_industry4.0.pdf. Acesso em: 8 fev. 2023.

_____. **Oportunidades para a indústria 4.0**: aspectos da demanda e oferta no Brasil. Brasília: CNI, 2017. Disponível em: https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2018/2/oportunidades-para-industria-40-aspectos-da-demanda-e-oferta-no-brasil/. Acesso em: 2 mar. 2023.

_____. **Indústria 4.0**: cinco anos depois. Brasília: CNI, 2022. Disponível em: https://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/sondesp-83-industria-40-cinco-anos-depois/. Acesso em: 8 maio 2023.

DAUDT, G.; MIGUEZ, T.; WILLCOX, L. D. **Indústria 4.0**. Rio de Janeiro: BNDES, 2018. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/18140. Acesso em: 2 mar. 2023.

EUROPEAN COMMISSION. **Germany**: Industrie 4.0. Brussels: EC, 2017. Disponível em: https://ati.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-06/DTM_Industrie%204.0_DE.pdf. Acesso em: 8 fev. 2023.

FURSTENAU, L. B. *et al*. Link between sustainability and Industry 4.0: trends, challenges and new perspectives. **IEEE Access**, v. 8, p. 140079-140096, 2020.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Basic econometrics**. 5th ed. Boston: McGraw-Hill Irwin, 2009.

IEDI – INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **A indústria do futuro no brasil e no mundo**. São Paulo: IEDI, 2019. Disponível em: https://iedi.org.br/media/site/artigos/20190311_industria_do_futuro_no_brasil_e_no_mundo.pdf. Acesso em: 2 mar. 2023.

IEEE – INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **International Network Generations Roadmap**: executive summary. [s.l.]: IEEE Future Networks, 2022a. Disponível em: https://futurenetworks.ieee.org/images/files/pdf/INGR-2022-Edition/IEEE-INGR-Executive-Summary-2022-Edition.pdf. Acesso em: 22 fev. 2023.

_____. **International Network Generations Roadmap**: edge services and automation working group. [s.l.]: IEEE Future Networks, 2022b. Disponível em: https://futurenetworks.ieee.org/roadmap/ingr-2022-edition/. Acesso em: 22 fev. 2023.

_____. **International Network Generations Roadmap**: applications and services working group. [s.l.]: IEEE Future Networks, 2022c. Disponível em: https://futurenetworks.ieee.org/roadmap/ingr-2022-edition/. Acesso em: 22 fev. 2023.

_____. **International Network Generations Roadmap**: artificial intelligence and machine learning working group. [s.l.]: IEEE Future Networks, 2022d. Disponível em: https://futurenetworks.ieee.org/roadmap/ingr-2022-edition/. Acesso em: 22 fev. 2023.

IEL – INSTITUTO EUVALDO LODI. **Síntese dos resultados**: construindo o futuro da indústria brasileira. Rio de Janeiro: IEL, 2018. Disponível em: https://www.ie.ufrj.br/images/IE/grupos/GIC/publica%C3%A7%C3%B5es/2019.%20IEL-NC%20et%20al.%20I2027_sintese_vol1-2.pdf. Acesso em: 2 mar. 2023.

KAGERMANN, H. Change through digitization: value creation in the age of Industry 4.0. *In*: ALBACH, H. *et al*. (Ed.). **Management of permanent change**. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015. p. 23-45.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W. Ten years of Industrie 4.0. **Sci**, v. 4, n. 3, p. 26, 2022.

KIPPER, L. M. *et al*. Scopus scientific mapping production in industry 4.0 (2011-2018): a bibliometric analysis. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 6, p. 1605-1627, 2020.

_____. Scientific mapping to identify competencies required by industry 4.0. **Technology in Society**, v. 64, p. 101454, 2021.

KOLBERG, D.; KNOBLOCH, J.; ZÜHLKE, D. Towards a lean automation interface for workstations. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 10, p. 2845-2856, 2017.

KUBOTA, L. C.; ROSA, M. B. Internet das coisas no Brasil: breve descrição de políticas e casos de sucesso. **Radar**: Tecnologia, Produção e Comércio Exterior, n. 71, p. 17-23, 2023.

KUPFER, D. Indústria 4.0 Brasil. **Valor Econômico**, 8 ago. 2016. Disponível em: https://valor.globo.com/opiniao/coluna/industria-4-0-brasil.ghtml.

LANGE, S.; MONTAGNIER, P.; PHILLIPS, S. **Digital technology diffusion and data**: working party on measurement and analysis of the digital economy. Paris: OECD, 2023.

LASI, H. *et al*. Industry 4.0. **Business and Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014.

LIMA, F. R.; GOMES, R. Conceitos e tecnologias da indústria 4.0: uma análise bibliométrica. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 19, p. e0200023, 2020.

MADAKAM, S.; RAMASWAMY, R.; TRIPATHI, S. Internet of Things (IoT): a literature review. **Journal of Computer and Communications**, v. 3, n. 5, p. 164-173, 2015.

MUHURI, P. K.; SHUKLA, A. K.; ABRAHAM, A. Industry 4.0: a bibliometric analysis and detailed overview. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 78, p. 218-235, 2019.

NASCIMENTO, M. R. Ecossistemas de conhecimento sobre indústria 4.0 no Brasil: uma análise bibliométrica. **AtoZ**: Novas Práticas em Informação e Conhecimento, v. 10, n. 3, p. 1, 2021.

NEO – NÚCLEO DE ENGENHARIA ORGANIZACIONAL. **Demonstradores da indústria 4.0**. Brasília: NEO, 2020. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/tecnologia/tecnologias_convergentes/paginas/Arquivo/01-Rel-Demonstrador-Camara-4.0-NEO_UFRGS-VF-dez2020.pdf. Acesso em: 3 fev. 2023.

_____. **Profissões emergentes na Era Digital**: oportunidades e desafios na qualificação profissional para uma recuperação verde. Brasília: NEO, 2021. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/b7/5a/b75af326-9c36-49e7-b298-1b9f0a3d4938/estudo_profissoes_emergentes_-_giz_ufrgs_e_senai.pdf. Acesso em: 6 mar. 2023.

NETTO, M. *et al*. (Ed.). **Apoio às MPMEs na crise da covid-19**: desafios do financiamento para resiliência e recuperação. Washington: IADB, 2021.

RODRIK, D. **An industrial policy for good jobs**. Cambridge: Harvard University, 2022. (The Hamilton Project). Disponível em: https://drodrik.scholar.harvard.edu/publications/industrial-policy-good-jobs.

SCHUH, G. *et al*. Collaboration mechanisms to increase productivity in the context of Industrie 4.0. **Procedia CIRP**, v. 19, p. 51-56, 2014.

SONG, Y.; LU, Y. Decision tree methods: applications for classification and prediction. **Shanghai Archives of Psychiatry**, v. 27, n. 2, p. 130-135, 2015.

SPADINGER, R. **Situação atual e perspectivas dos serviços e tecnologias associadas ao 5G na Europa**: internet das coisas (IoT), indústria 4.0. Brasília: Ipea, 2021. (Nota Técnica, n. 90).

TORTORELLA, G. L.; FETTERMANN, D. Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2975-2987, 2018.

VEIGA, M. G.; MCCAHERY, J. A. The financing of small and medium-sized enterprises: an analysis of the financing gap in Brazil. **European Business Organization Law Review**, v. 20, n. 4, p. 633-664, 2019.

VELHO, S.; BARBALHO, S. Um observatório latino-americano da indústria 4.0. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE INOVAÇÃO E GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 12., 2019, Brasília, Distrito Federal. **Anais**... São Paulo: Editora Blucher, 2019. Disponível em: http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/33552. Acesso em: 8 fev. 2023.

VIEIRA, P. A.; OURIQUES, H. R.; AREND, M. A posição do Brasil frente à indústria 4.0: mais uma evidência de rebaixamento para a periferia? **Oikos**, v. 19, n. 3, p. 12-34, 2020.

WEF – WORLD ECONOMIC FORUM. **Accelerating the impact of industrial IoT in small and medium-sized enterprises**: a protocol for action. Cologny: WEF, 2020. Disponível em: https://www.weforum.org/whitepapers/accelerating-the-impact-of-industrial-iot-in-small-and-medium-sized-enterprises-a-protocol-for-action/. Acesso em: 7 mar. 2023.

_____. **State of the connected world 2023 edition**. Cologny: WEF, 2023. Disponível em: https://www.weforum.org/reports/state-of-the-connected-world-2023-edition/. Acesso em: 31 jan. 2023.

WEF – WORLD ECONOMIC FORUM; ACCENTURE. **Global cybersecurity outlook 2023**. Cologny: WEF; Accenture, 2023. Disponível em: https://www.weforum.org/reports/global-cybersecurity-outlook-2023/. Acesso em: 19 jan. 2023.

WOOLDRIDGE, J. M. **Econometric analysis of cross section and panel data**. 2nd ed. Cambridge: MIT Press, 2010.

XU, L. D.; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 2018.

CAPÍTULO 4

INTERNET DAS COISAS NO BRASIL: ANÁLISE E RECOMENDAÇÃO DE POLÍTICAS COM ÊNFASE NO AGRONEGÓCIO[1,2]

Luis Claudio Kubota[3]
Maurício Benedeti Rosa[4]

1 INTRODUÇÃO

A internet das coisas (*internet of things* – IoT), termo utilizado pela primeira vez em 1999 por Kevin Ashton, pesquisador do Massachusetts Institute of Technology (MIT) (Bertollo, Castillo e Busca, 2022), tem em comum entre suas definições a ideia de que a primeira versão da internet baseava-se em dados criados por pessoas, enquanto a próxima versão consistirá de dados criados por coisas. Madakam, Ramaswamy e Tripathi (2015, p. 165, tradução nossa) sustentam tratar-se de uma "rede aberta e abrangente de objetos inteligentes que possuem a capacidade de se auto-organizar, compartilhar informações, dados e recursos, reagindo e agindo diante de situações e mudanças no ambiente".

Ao contrário de tecnologias da informação e comunicação (TICs) de gerações anteriores, cuja implantação em grande parte era mais restrita ao ambiente corporativo, a tríade de tecnologias IoT, computação em nuvem e na borda e inteligência artificial (IA) é aplicável às mais variadas áreas da atividade humana. Pode ser utilizada na segurança pública (por exemplo, no monitoramento de imagens), na saúde (como no acompanhamento remoto de pacientes), na infraestrutura (no controle de tubulações), entre outras aplicações.

Entre potenciais ganhos de produtividade para a economia com a adoção da IoT, pode-se citar a redução de: perdas por extravio de carga;[5] necessidade de

1. Os autores agradecem as valiosas informações fornecidas por Guilherme Correa e Karina Vidal, do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI); Dario Thober, do Centro de Pesquisas Avançadas Wernher von Braun; Bruno Sousa, do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai) de São Paulo; Júlio Martorano, da Trópico Telecomunicações; e Luis Lucinger, da Universidade de Brasília (UnB). Agradecem também a revisão de José Brandão e Ana Avellar. Quaisquer erros e omissões são de responsabilidade dos autores.

2. Versão ligeiramente modificada de *Texto para Discussão* homônimo. Extratos deste texto foram publicados em Kubota e Rosa (2022) e Kubota *et al*. (2022).

3. Técnico de planejamento e pesquisa na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais, de Inovação, Regulação e Infraestrutura do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Diset/Ipea).

4. Bolsista do Subprograma de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) na Diset/Ipea.

5. Disponível em: https://www.fuseiot.io/blog/iot-contribui-para-o-aprimoramento-do-setor-de-logistica/. Acesso em: 26 jan. 2023.

internação hospitalar;[6] desperdício devido a vazamentos de água ou gases (Moura e Sousa, 2019); perdas no campo devido à infestação de pragas nas colheitas e na criação de animais;[7] entre inúmeros outros. Com a realização dos leilões da quinta geração de comunicação móvel (5G) – que se caracteriza pela alta velocidade e baixa latência – observa-se a possibilidade de ampla difusão da comunicação entre sensores e dispositivos.

É interessante notar como várias dessas tecnologias podem ser integradas. Phasinam *et al*. (2022) mostram um sistema de irrigação baseado em IoT e arquitetura de computação em nuvem, no qual os dados são armazenados e analisados por meio de técnicas de aprendizado de máquina.

Se o Brasil perdeu oportunidades em décadas anteriores no setor de eletroeletrônicos, existem notícias alvissareiras que permitem um maior otimismo no que diz respeito à IoT. Em primeiro lugar, o país possui um sistema setorial de inovação com capacidade para gerar e implementar as tecnologias necessárias. O Brasil tem também um plano de IoT bem elaborado e com uma boa governança de acompanhamento. Finalmente, várias iniciativas de classe mundial já são realidade.

Por exemplo, em abril de 2021, foi inaugurado na cidade de Sorocaba (São Paulo) o Centro de Referência em Internet das Coisas, uma parceria entre o MCTI,[8] o Centro Universitário Facens e o Parque Tecnológico de Sorocaba. O local tem como finalidade a demonstração de soluções modernas e inteligentes nas diversas áreas *verticais*[9] propostas pelo Plano Nacional de IoT, tais como saúde, indústria, agronegócio, cidades e turismo, além daquela associada à educação.[10] Ademais, espera-se estimular as interações entre governo, universidades, indústria, cidadãos e meio ambiente (Mari, 2021).

Para captar as transformações relacionadas à IoT em nível residencial, há inclusive mudanças no módulo temático de Tecnologia da Informação e Comunicação da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua TIC), as quais vão incluir a identificação de tecnologias como a IoT por meio de questionamento quanto à existência de dispositivos domésticos inteligentes. As informações coletadas pelo estudo podem auxiliar na elaboração

6. Disponível em: https://blogs.oracle.com/oracle-brasil/post/inteligencia-artificial-e-aprendizado-de-maquina-podem-evitar-o-infarto-e-o-avc-v2. Acesso em: 26 jan. 2023.

7. Disponível em: https://institucional.ufpel.edu.br/projetos/id/u2738. Acesso em: 26 jan. 2023.

8. No período de maio de 2016 a junho de 2020, a pasta chamou-se Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC).

9. Neste trabalho, o termo *verticais* refere-se aos grupos de ambientes de possíveis usos de IoT, ao passo que o termo *horizontais* designa os grupos de elementos habilitadores para a adoção e o desenvolvimento de IoT, conforme a terminologia utilizada em BNDES (2018a, p. 6).

10. Disponível em: https://www.gov.br/pt-br/noticias/transito-e-transportes/2021/04/centro-de-referencia-em-internet-das-coisas-e-tecnologias-4-0-e-inaugurado. Acesso em: 24 nov. 2022.

de políticas públicas com o Plano Nacional de IoT, o qual está inserido de forma mais ampla na Estratégia Brasileira para a Transformação Digital (e-Digital).[11]

O principal desafio é que a adoção de IoT não seja restrita a casos de sucesso – especialmente entre as grandes empresas –, mas que ganhe escala e seja uma realidade também nas pequenas e médias firmas. Como será visto adiante, existem iniciativas desenvolvidas pelo Sistema S que buscam responder a essa questão.

Conforme examinado anteriormente, o escopo da IoT é bastante amplo. Tendo isso em vista, é válido ressaltar que, tanto em termos de revisão quanto de proposições, há um foco no agronegócio neste texto. O capítulo está organizado conforme segue. A seção 2 traz uma caracterização da IoT no Brasil, composta de: i) análise bibliométrica; ii) apresentação do Plano Nacional de IoT e sua inserção na e-Digital; e iii) uma revisão de trabalhos sobre IoT e agronegócio. São detalhadas também políticas setoriais capazes de atender às necessidades relacionadas à oferta de tecnologias para a IoT. A seção 3 apresenta uma comparação internacional e casos de sucesso de implementação no Brasil. A seção 4 propõe políticas públicas. E a seção 5 tece as considerações finais.

2 INTERNET DAS COISAS NO BRASIL – CARACTERIZAÇÃO

Para qualificar o estágio atual de pesquisa envolvendo a IoT no Brasil, parte-se de uma concisa análise bibliométrica sobre o tema, para em seguida detalhar o seu respectivo plano nacional, as interseções com o agronegócio e as políticas de fomento à IoT no cenário doméstico.

2.1 Pesquisa bibliométrica

A análise bibliométrica permite descrever, avaliar e monitorar trabalhos publicados, além de introduzir um processo de revisão sistemático, transparente e passível de reprodutibilidade, servindo como orientação ao pesquisador quanto à determinação das obras mais influentes e ao mapeamento, sem viés subjetivo, do campo de pesquisa (Zupic e Čater, 2015). Com a crescente quantidade de trabalhos científicos publicados em muitas áreas de pesquisa, a análise bibliométrica se destaca por sua capacidade em fornecer resultados indicativos das principais tendências em cada campo (Bonilla, Merigó e Torres-Abad, 2015).

A caracterização da literatura envolvendo estudos sobre IoT no Brasil é feita por meio de uma busca[12] na base de dados Scopus[13] pelos termos *internet of things* e *Brazil*. Como resultado, encontraram-se 179 documentos até o ano de 2022,

11. Conforme noticiado por Nery (2022).

12. A busca das expressões é feita nos campos referentes a título, resumo e palavras-chave.

13. O acesso à base de dados Scopus foi feito por meio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes). Disponível em: https://www-periodicos-capes-gov-br.ezl.periodicos.capes.gov.br/index.php/acesso-cafe.html. Acesso em: 7 dez. 2022.

dos quais quase 95% escritos em inglês. A análise bibliométrica é elaborada conforme ferramenta desenvolvida por Aria e Cuccurullo (2017), por meio do *software* RStudio. A tabela 1 destaca as principais informações.

TABELA 1
Principais informações da literatura sobre IoT no Brasil: resultados encontrados na base de dados Scopus (2013-2022)[1]
(Em números absolutos)

Descrição	Resultados
Fontes: periódicos, livros etc.	140
Referências	6.138
Autores	729
Documentos	179
Artigos de periódicos	68
Livros	3
Capítulos de livro	7
Artigos de congresso	89
Revisões de congresso	8
Revisões	4

Fonte: Scopus.
Elaboração dos autores.
Nota: [1] Não se encontraram dados anteriores a 2013.
Obs.: Utilizou-se o *software* RStudio, desenvolvido pelo R Core Team. Disponível em: https://www.r-project.org/.

De acordo com a tabela 1, as produções científicas que avaliam a IoT tendo o Brasil como cenário iniciaram-se em 2013, foram escritas por mais de setecentos autores e têm como principais meios de divulgação os artigos de congressos, seguidos dos artigos em periódicos. O gráfico 1 ilustra a evolução na quantidade de documentos publicados entre 2013 e 2022, a qual teve tendência de crescimento até 2020 e caiu em 2021 e 2022.

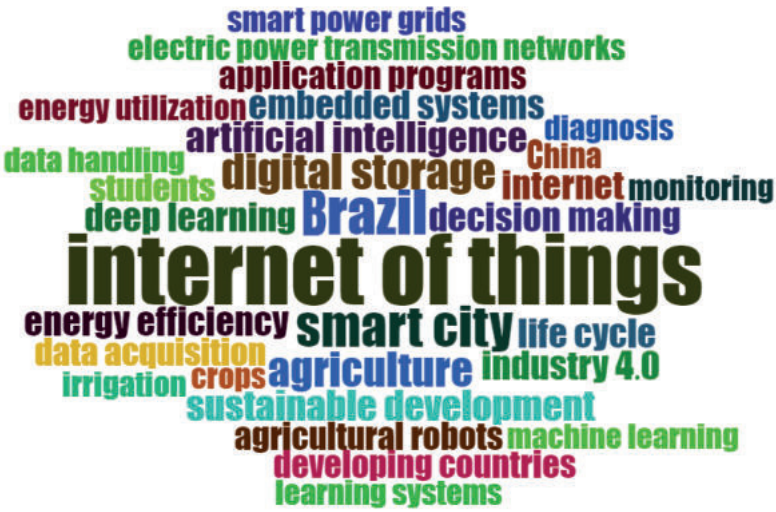
GRÁFICO 1
Produção científica anual: documentos publicados (2013-2022)
(Em números absolutos)

Fonte: Scopus.
Elaboração dos autores.
Obs.: Utilizou-se o *software* RStudio, desenvolvido pelo R Core Team. Disponível em: https://www.r-project.org/.

Com relação à autoria dos documentos dividida por países, o Brasil naturalmente se destaca como principal expoente, seguido dos Estados Unidos. No que se refere às universidades, as quatro principais quanto à afiliação dos autores são a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); a Universidade de São Paulo (USP); a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); e a Universidade Federal do ABC (UFABC).

A ferramenta de análise bibliométrica permite ainda a construção de uma nuvem de palavras – isto é, uma representação visual de dados textuais baseada na frequência decrescente de vocábulos nos textos analisados. As palavras em destaque ajudam a interpretar os dados e contribuem para a análise exploratória, além de divulgarem informações subjacentes ao conjunto de dados (Kulevicz *et al.*, 2020). A figura 1 apresenta a nuvem de palavras referente à base de 179 documentos que discorrem sobre a IoT no cenário brasileiro.

FIGURA 1
Nuvem de palavras para a literatura de IoT no Brasil



Fonte: Scopus.
Elaboração dos autores.
Obs.: Utilizou-se o *software* RStudio, desenvolvido pelo R Core Team. Disponível em: https://www.r-project.org/.

A figura 1 é formada pelos trinta termos mais relevantes da base de dados. As palavras (ou conjuntos de palavras) de maior destaque obviamente são aquelas que foram utilizadas no processo de busca, ou seja, *internet of things* e *Brazil*. Porém, entre as muitas outras que aparecem repetidamente nos diversos estudos, merecem destaque três delas, as quais dialogam diretamente com grupos verticais propostos no Plano Nacional de IoT: i) *smart city* (cidades inteligentes); ii) *agriculture* (agricultura); e iii) *industry* 4.0 (indústria 4.0). No âmbito do

agronegócio, aparecem os termos *agricultural robots* (robôs agrícolas), *crops* (culturas) e *irrigation* (irrigação), realçando a relevância do setor agrícola no cenário nacional, bem como as potencialidades oferecidas pela utilização de novas tecnologias no campo.

Não menos importante, vale salientar os termos referentes a tecnologias complementares à IoT, tais como *artificial intelligence* (IA) e *machine learning* (aprendizado de máquina). Ainda, destaquem-se expressões do setor de energia, como *energy efficiency* (eficiência energética), *electric power transmission networks* (redes de transmissão de energia elétrica) e *smart power grids* (redes elétricas inteligentes), além da cada vez mais relevante questão da sustentabilidade, exemplificada em *sustainable development* (desenvolvimento sustentável).

2.2 Plano Nacional de IoT

Nas seções anteriores, procurou-se traçar um panorama geral sobre o que é IoT e sobre a produção bibliométrica a respeito do tema. Nas subseções 2.2 a 2.4, busca-se apresentar o estado das políticas públicas para a tecnologia no Brasil. O desenvolvimento das bases para o Plano Nacional de IoT teve início no final de 2016, com a assinatura de um acordo de cooperação entre o MCTI e o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), os quais avaliaram um conjunto de iniciativas em parceria com o consórcio formado pela consultoria McKinsey, pela fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD) e pelo escritório Pereira Neto e Macedo Advogados. Este consórcio conduziu um amplo estudo para realizar um diagnóstico detalhado e propor políticas públicas no âmbito da IoT.[14]

O estudo foi composto de quatro fases, de janeiro de 2017 a fevereiro de 2018, e gerou um total de 28 documentos. Na primeira fase, entre janeiro e março de 2017, foram elaborados relatórios, incluindo um referencial (*benchmark*) internacional com iniciativas desenvolvidas por doze países ou conjuntos de países[15] no tema de IoT, e um roteiro (*road map*) tecnológico completo. Os relatórios também continham aspirações do Brasil para IoT; análises de oferta e demanda para a delimitação de grupos verticais de aplicação de IoT; e análise de fatores horizontais como forma de diagnosticar "os principais elementos estruturais do país que influenciam na complexidade e no impacto do desenvolvimento de IoT" (BNDES, 2017, p. 2).

Na fase dois, composta de quatro relatórios desenvolvidos entre os meses de abril e junho de 2017, foi detalhada a metodologia para priorização das áreas

14. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/internet-das-coisas-estudo-repositorio. Acesso em: 3 out. 2022.

15. Alemanha, China, Singapura, Coreia do Sul, Emirados Árabes Unidos, Estados Unidos, Índia, Japão, Reino Unido, Rússia, Suécia e União Europeia.

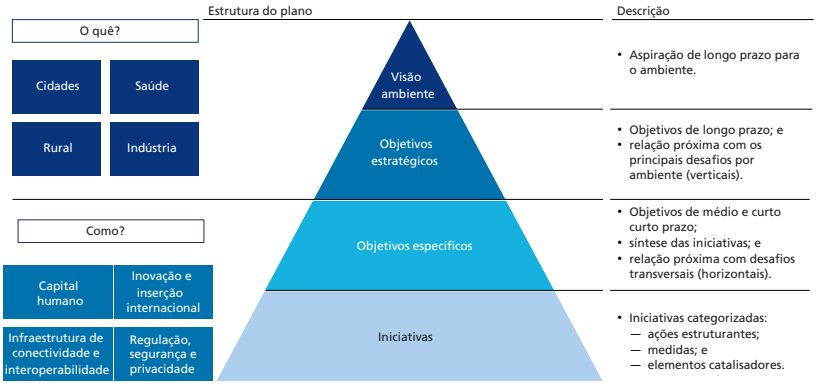
verticais (cidades; saúde; meio rural; e indústria) e dos elementos horizontais selecionados (capital humano; inovação e inserção internacional; infraestrutura de conectividade e interoperabilidade; e regulação, segurança e privacidade).

Na fase três, os nove relatórios disponíveis, criados entre julho e setembro de 2017, tiveram os seguintes objetivos para cada um dos ambientes priorizados: i) identificar desafios do ambiente e definir metas e objetivos; ii) priorizar e detalhar casos de uso; iii) realizar análise de focos tecnológicos por caso de uso priorizado; e iv) elaborar plano de ação.[16] Ainda, entre os documentos tem-se o relatório final do estudo, o qual traz a estrutura do plano de ação, os projetos mobilizadores e as iniciativas do plano de ação.

A quarta e última fase, ocorrida entre outubro de 2017 e fevereiro de 2018, trouxe cinco documentos que detalharam seções já dispostas no relatório final do estudo. O primeiro deles apresentou o desenho do modelo de governança para o plano. Os três documentos seguintes pormenorizaram os projetos mobilizadores propostos, a saber: as plataformas de inovação e os centros de competência; o Observatório de IoT; e a Cartilha das Cidades. Por fim, o último documento foi referente ao desenho da estrutura de monitoramento do plano.[17]

O relatório final do estudo (BNDES, 2018a) aborda as principais indicações para a construção do plano, dividindo-as entre estrutura, projetos mobilizadores e iniciativas. A figura 2 ilustra a configuração do plano.

FIGURA 2
Estrutura sugerida para o Plano Nacional de IoT



Fonte: BNDES (2018a, p. 68).
Elaboração dos autores.

16. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/internet-das-coisas-estudo. Acesso em: 3 out. 2022.
17. Para mais informações, bem como para acessar os documentos produzidos pelo estudo, ver: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisaedados/estudos/estudo-internet-das-coisas-iot/estudo-internet-das-coisas-um-plano-de-acao-para-o-brasil.

Com relação aos projetos mobilizadores, os quais têm relatórios dedicados com maior detalhamento, o BNDES (2018a) caracteriza os ecossistemas de inovação como um ambiente fértil, propício para a inovação, capaz de envolver "empresas com interesse para investir em pesquisa e desenvolvimento, *startups* de base tecnológica com produtos inovadores e centros de pesquisa acadêmica dispostos a trabalhar em soluções com alto potencial mercadológico" (*op. cit.*, p. 84), enquanto os centros de competência seriam "áreas de especialização tecnológica essenciais para o desenvolvimento de IoT" (*op. cit.*, p. 86). Por sua vez, o Observatório de IoT, uma espécie de epicentro virtual de informações relacionadas com IoT, abarcaria as funções de organização de informações e de transparência – com o papel de "comunicar os mecanismos de apoio à empresa que demanda e que oferta soluções de IoT, seja por financiamento, cursos de capacitação ou parceria com instituições de ensino para pesquisa e desenvolvimento" (*op. cit.*, p. 89), e disponibilizar indicadores de esforço e de impacto, os quais refletem, respectivamente, o avanço das iniciativas e os resultados para a sociedade. Por fim, o "projeto mobilizador de IoT em cidades possui foco na capacitação dos gestores públicos e nas orientações para implantação de soluções que melhorem a qualidade de vida da população" (*op. cit.*, p. 90), por meio da criação de uma cartilha para a aplicação de IoT em cidades e do apoio no planejamento e na execução de pilotos de IoT.

As iniciativas são divididas em três categorias, conforme o quadro 1. Elas estão associadas a cada um dos quatro elementos horizontais propostos pelo estudo: capital humano; inovação e inserção internacional; infraestrutura de conectividade e interoperabilidade; e regulação, segurança e privacidade. Em termos de definições, as "ações estruturantes são fundamentais para o desenvolvimento de IoT no Brasil e sua implementação pode ser acompanhada dentro da estrutura de governança do Plano de Ação", com um total de dezessete iniciativas. As "medidas são ações ou práticas que complementam as ações estruturantes para a entrega dos objetivos específicos e estratégicos, ampliando o impacto do plano", e totalizam 31 iniciativas. Já os elementos catalisadores "são ações identificadas como capazes de potencializar o efeito da IoT no país", abrangendo 27 iniciativas (BNDES, 2018a, p. 68-69).

Outro pilar do Plano Nacional de IoT refere-se ao modelo de governança (BNDES, 2018b), responsável pela definição de papéis, participantes e rotinas de implementação. Baseada em experiências internacionais – como as do Japão e da Arábia Saudita –, a estrutura de governança proposta para o Plano Nacional de IoT é exibida na figura 3.

QUADRO 1
Sintetização e caracterização das categorias de iniciativas

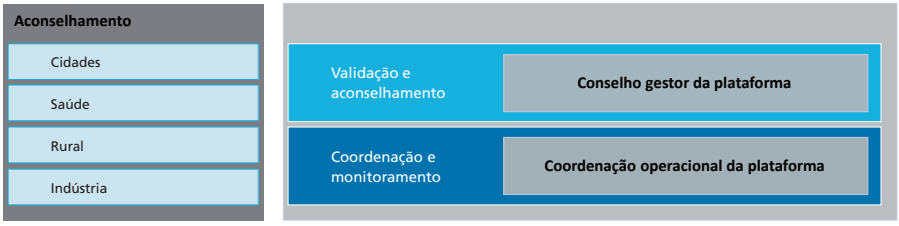
		Características		
		Fórum de decisão	Impacto	Facilidade de implantação
Categorias	Ações estruturantes	Decisões tomadas pelo alto escalão de órgãos engajados no estudo.	Alto e limitado à adoção e ao desenvolvimento de IoT.	Média. Muitas delas já estão em andamento.
	Medidas	Decisões tomadas por níveis gerenciais de órgãos engajados no estudo.	Médio e limitado à adoção e ao desenvolvimento de IoT.	Desafiadora, mas possível, caso haja alinhamento dentro e fora dos órgãos.
	Elementos catalisadores	Decisões tomadas por fóruns de altíssimo nível, como a Presidência da República e o Congresso Nacional.	Muito alto e com medidas que extrapolam a IoT.	Muito desafiadora e, em geral, de resolução de longo prazo.

Fonte: BNDES (2018a, p. 69).
Elaboração dos autores.

FIGURA 3
Desenho da estrutura de governança proposta para o Plano Nacional de IoT

3A – Governança do Plano Nacional de IoT

3B – Governança das plataformas



Fonte: BNDES (2018b, p. 11).
Elaboração dos autores.
Nota: [1] Escritório de projetos (*project management office* – PMO).

Conforme a figura 3, a governança proposta é dividida entre dois grupos, o primeiro deles referente ao plano nacional, com quatro atores desempenhando diferentes funções, e o segundo associado às plataformas, com duas subdivisões. Com relação à governança do Plano Nacional de IoT, a função de aconselhamento é dada à Câmara de IoT, que tem como principais atribuições: i) acompanhar a evolução e o surgimento de novas aplicações de IoT; ii) subsidiar a formulação de

políticas públicas que estimulem a IoT; iii) promover a cooperação técnica entre os atores participantes do ecossistema de IoT; e iv) divulgar estudos e atividades realizados em outros fóruns (BNDES, 2018b). De forma complementar, o comitê gestor é o órgão executivo da governança do plano, com responsabilidades que incluem o planejamento e a tomada de decisões críticas em nível estratégico e o acompanhamento de resultados das ações. Por sua vez, a equipe de PMO é responsável pela estrutura de monitoramento – por exemplo, estabelecendo metodologias de trabalho para o desenvolvimento das iniciativas –, enquanto o Observatório de IoT atua como repositório de informações e promove o alinhamento com iniciativas de outras instituições, entre outras atribuições.

Na governança das plataformas, as responsabilidades estão associadas ao conselho gestor e à coordenação operacional. O conselho tem como principais atribuições o estabelecimento de prioridades e objetivos da plataforma, o desenvolvimento de aspirações claras e mensuráveis, e a participação ativa na definição de regras para a seleção de projetos. A coordenação, por seu turno, é responsável por fazer o controle do orçamento e monitorar necessidades de investimento, buscar possíveis parceiros, além de disseminar conhecimento e fortalecer a comunidade de IoT por intermédio da promoção de espaços e eventos.

O estudo desenvolvido pelo MCTI, pelo BNDES e por consórcio envolvendo a consultoria McKinsey, o CPqD e o escritório Pereira Neto e Macedo Advogados foi a base a partir da qual se estabeleceu o Decreto nº 9.854, de 25 de junho de 2019, instituindo o Plano Nacional de IoT e dispondo sobre a Câmara de Gestão e Acompanhamento do Desenvolvimento de Sistemas de Comunicação Máquina a Máquina e Internet das Coisas (Câmara IoT). O art. 1º do decreto reforça a finalidade de implementar e desenvolver a IoT no país, com base na livre concorrência e na livre circulação de dados, observando-se as diretrizes de segurança da informação e de proteção de dados pessoais (Brasil, 2019a).

Segundo Brasil (2019a, art. 3º), são objetivos do Plano Nacional de IoT:

> I - Melhorar a qualidade de vida das pessoas e promover ganhos de eficiência nos serviços, por meio da implementação de soluções de IoT;
>
> II - Promover a capacitação profissional relacionada ao desenvolvimento de aplicações de IoT e a geração de empregos na economia digital;
>
> III - Incrementar a produtividade e fomentar a competitividade das empresas brasileiras desenvolvedoras de IoT, por meio da promoção de um ecossistema de inovação neste setor;
>
> IV - Buscar parcerias com os setores público e privado para a implementação da IoT; e

V - Aumentar a integração do país no cenário internacional, por meio da participação em fóruns de padronização, da cooperação internacional em pesquisa, desenvolvimento e inovação e da internacionalização de soluções de IoT desenvolvidas no país.

Com relação aos grupos verticais de utilização de IoT, o plano confirma os quatro ambientes propostos pelo estudo – saúde, cidades, indústrias e meio rural (Brasil, 2019a, art. 4º). Em 20 de outubro de 2020, o setor de turismo também foi incluído como uma área vertical do Plano Nacional de IoT, por intermédio da criação da Câmara do Turismo 4.0.[18] Tal atribuição torna esses ambientes referência para o acesso a mecanismos de fomento à pesquisa científica, ao desenvolvimento tecnológico e à inovação, bem como para o apoio ao empreendedorismo de base tecnológica. As áreas horizontais, por sua vez, foram estabelecidas pelo decreto em seis pilares: i) ciência, tecnologia e inovação (CT&I); ii) inserção internacional; iii) educação e capacitação profissional; iv) infraestrutura de conectividade e interoperabilidade; v) regulação, segurança e privacidade; e vi) viabilidade econômica.[19] Ressalte-se que tais ações devem estar alinhadas com as ações estratégicas definidas na e-Digital.

Os projetos mobilizadores sugeridos pelo estudo também são instituídos em Brasil (2019a), em seu art. 6º. Com o objetivo de facilitar a implementação do plano, ficam sob a coordenação do MCTI: i) as plataformas de inovação em IoT; ii) os centros de competência para tecnologias habilitadoras em IoT; e iii) o Observatório Nacional para o Acompanhamento da Transformação Digital.

Para o assessoramento destinado a acompanhar a implementação do Plano Nacional de IoT, Brasil (2019a) define, em seu art. 7º, a Câmara IoT, com as seguintes competências: i) monitorar e avaliar as iniciativas de implementação do Plano Nacional de IoT; ii) promover e fomentar parcerias entre entidades públicas e privadas para o alcance dos objetivos do Plano Nacional de IoT; iii) discutir com os órgãos e entidades públicas os temas (horizontais) do plano de ação; iv) apoiar e propor projetos mobilizadores; e v) atuar conjuntamente com órgãos e entidades públicas para estimular o uso e o desenvolvimento de soluções de IoT. Fica definido, ainda, que a Câmara IoT será composta por representantes de cinco ministérios,[20] podendo ser convidados representantes de associações e de entidades públicas e privadas para participar das reuniões.

18. Disponível em: https://www.gov.br/turismo/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/camara-do-turismo-4.0. Acesso em: 4 out. 2022.

19. Quando os elementos horizontais são comparados aos propostos pelo estudo que embasou o Plano Nacional de IoT – capital humano; inovação e inserção internacional; regulação, segurança e privacidade; e infraestrutura de conectividade e interoperabilidade –, percebe-se que houve a reorganização de alguns itens, além da inclusão de outros, como a viabilidade econômica.

20. MCTIC, que a presidirá; Ministério da Economia (ME); Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa); Ministério da Saúde; e Ministério do Desenvolvimento Regional.

No que concerne ao Observatório de IoT, Lacerda (2020), ao realizar uma análise *ex ante* do Plano Nacional de IoT, considera que o Observatório Nacional para o Acompanhamento da Transformação Digital, lançado pelo MCTI em parceria com o Movimento Brasil Competitivo e o CPqD, na prática, tomou proporção mais ampla, "abarcando ferramentas para acompanhamento e monitoramento das ações de políticas públicas relacionadas à economia digital em geral em curso no país, dentre as quais o Plano Nacional de IoT" (*op. cit.*, p. 82).[21]

Baseadas no Decreto nº 9.854, de 25 de junho de 2019, as câmaras 4.0 (câmaras de IoT) começaram a ser implementadas ainda em 2019, nos casos de indústria,[22] agro[23] e cidades,[24] e em 2020 para saúde[25] e turismo,[26] com estruturas baseadas na maioria das vezes em divisões por grupos de trabalho (GTs) e na elaboração de um plano de ação. O quadro 2 detalha a data de formalização de cada uma delas, bem como os respectivos GTs associados.

QUADRO 2
Câmaras 4.0: data de formalização e GTs (2019-2020)

Câmara	Formalização	GT 1	GT 2	GT 3	GT 4
Indústria	Abr./2019	Desenvolvimento tecnológico e inovação	Capital humano	Cadeias produtivas e desenvolvimento de fornecedores	Regulação, normalização técnica e infraestrutura
Agro	Ago./2019	Desenvolvimento, tecnologia e inovação	Desenvolvimento profissional	Cadeias produtivas e desenvolvimento de fornecedores	Conectividade no campo
Cidades	Dez./2019	Desenvolvimento urbano e sustentável	Soluções e tecnologias para cidades inteligentes e sustentáveis	Infraestrutura de conectividade para cidades inteligentes e sustentáveis	
Saúde	Jan./2020	-	-	-	-
Turismo	Out./2020	Qualificação e desenvolvimento de produtos com foco na Jornada do Turista 4.0	Desenvolvimento de destinos turísticos inteligentes	Soluções e tecnologias digitais para o turismo 4.0	

Elaboração dos autores.
Obs.: No endereço virtual da Câmara da Saúde, não são apresentados GTs.

21. O observatório foi criado para englobar indicadores de esforço e impacto, além de servir como instrumento de organização de informações e de transparência. Em 2020, Lacerda (2020) já alertava que a última atualização havia sido dois anos antes. Atualmente, o endereço virtual visitado pela autora não existe, reforçando a aparente descontinuidade de tal projeto mobilizador.

22. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/camara-industria. Acesso em: 5 out. 2022.

23. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/camara-agro. Acesso em: 5 out. 2022.

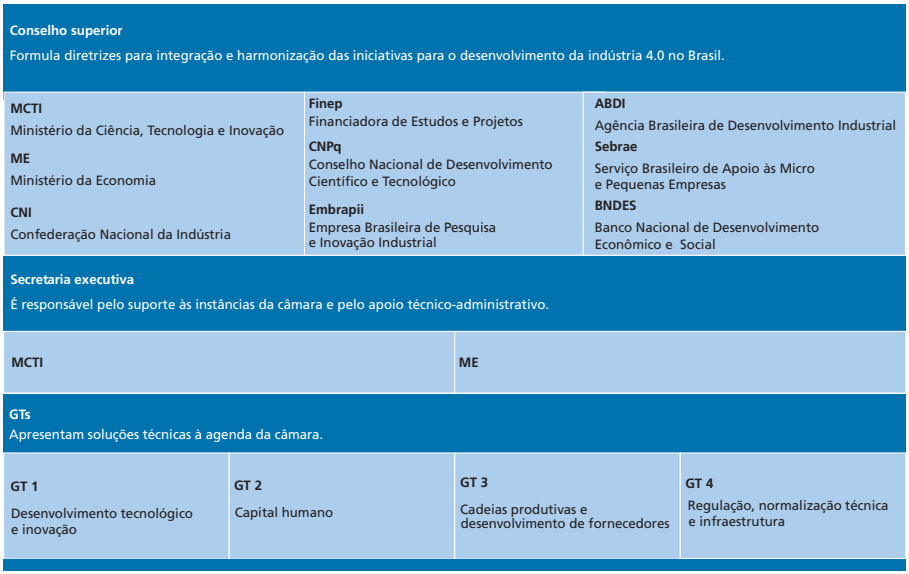
24. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/camara-cidades. Acesso em: 5 out. 2022.

25. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/camara-saude. Acesso em: 5 out. 2022.

26. Disponível em: https://www.gov.br/turismo/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/camara-do-turismo-4.0. Acesso em: 5 out. 2022.

As câmaras da indústria, do agro e das cidades apresentam em seus endereços virtuais um conjunto maior de informações disposto em quatro seções:[27] i) governança; ii) plano de ação; iii) programas e iniciativas; e iv) repositório. As câmaras da saúde e do turismo, por sua vez, apresentam apenas a seção de repositório, a qual inclui os históricos de publicações oficiais – por exemplo, o acordo de cooperação técnica do MCTI com o respectivo ministério associado à câmara – e as reuniões dos GTs. A figura 4 ilustra o modelo de governança da Câmara da Indústria 4.0.[28]

FIGURA 4
Modelo de governança da Câmara da Indústria 4.0



Fonte: Brasil (2021b, p. 3).
Elaboração dos autores.

Com relação aos planos de ação, o documento referente à Câmara da Indústria 4.0 (Brasil, 2021b) é elaborado por representantes das instituições que compõem os GTs e aprovado pelo conselho superior. O plano passa por revisões frequentes, de forma a confirmar o sucesso de algumas iniciativas e identificar novas necessidades, e é detalhado da seguinte forma: para cada GT, são determinadas ações que correspondem aos desafios do respectivo grupo, e para cada

27. A Câmara da Indústria ainda apresenta uma seção chamada ProFuturo, a qual anexa um documento referente ao Plano de CT&I para Manufatura Avançada no Brasil divulgado em dezembro de 2017. A Câmara das Cidades não apresenta um plano de ação, mas traz uma seção chamada Carta Brasileira para Cidades Inteligentes, a qual oferece mais de 160 recomendações apoiadas em oito objetivos estratégicos.

28. A estrutura do modelo de governança – conselho superior, secretaria executiva e GTs – é semelhante para a Câmara do Agro.

ação descreve-se um conjunto de iniciativas capazes de auxiliar no cumprimento dos objetivos. A título de exemplo, para o GT 1 (Desenvolvimento tecnológico e inovação) são elencadas duas ações, a primeira delas com uma iniciativa correspondente e a segunda com seis iniciativas associadas.

O plano de ação da Câmara do Agro 4.0 (Brasil, 2021c) é composto de sete seções. Após breve apresentação e contextualização, o documento estabelece a metodologia de elaboração do plano em quatro pilares: a identificação de ações e iniciativas; a indicação de instituições responsáveis; a listagem dos atores envolvidos; e a estimativa quanto à necessidade de recursos financeiros. Em seguida, são traçados os principais desafios elencados pelos GTs da Câmara do Agro 4.0, os quais servem de base para a proposição de ações e iniciativas. Para cada um dos quatro GTs, são colocadas de duas a três ações capazes de auxiliar no enfrentamento dos desafios observados. Na seção seguinte, detalha-se a implementação do plano de ação por meio de dois conjuntos de estratégias – as de implementação e de comunicação –, e na sequência conclui-se com as considerações finais (Brasil, 2021c).

No âmbito de programas e iniciativas, destacam-se as câmaras do agro 4.0 e das cidades 4.0. Na primeira, tem-se o Programa Agro 4.0,[29] encabeçado pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), que visa estimular e fomentar o uso de tecnologias 4.0 no agronegócio, por meio de editais, eventos, encontros, compartilhamento de informações e outras ações, com foco em aumento de eficiência e produtividade, e em redução de custos. É interessante citar também o e-Campo,[30] uma plataforma de capacitações *online* da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Por seu turno, na Câmara das Cidades 4.0, são inúmeros os exemplos de ações, entre as quais se destacam a Carta Brasileira para Cidades Inteligentes,[31] a plataforma inteli.gente, cujo objetivo é diagnosticar a maturidade para cidades inteligentes e sustentáveis,[32] e a Rede para Desenvolvimento Urbano Sustentável (ReDUS),[33] uma plataforma nascida com o propósito de apoiar pessoas e organizações a atuarem em conjunto para construir um futuro mais sustentável para as cidades.

2.3 A IoT na e-Digital: ciclo 2022-2026

A IoT é parte importante do ciclo 2022-2026 da e-Digital (Brasil, 2022c), conforme a atualização periódica prevista no Decreto nº 9.319/2018 (Brasil, 2018). Este decreto instituiu o Sistema Nacional para a Transformação Digital

29. Disponível em: http://agro40.abdi.com.br/. Acesso em: 5 out. 2022.
30. Disponível em: https://www.embrapa.br/e-campo. Acesso em: 5 out. 2022.
31. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/desenvolvimento-urbano/carta-brasileira-para-cidades-inteligentes. Acesso em: 5 out. 2022.
32. Disponível em: https://inteligente.mcti.gov.br/. Acesso em: 5 out. 2022.
33. Disponível em: https://www.redus.org.br/. Acesso em: 5 out. 2022.

e estabeleceu a estrutura de governança para a implantação da estratégia. Nos objetivos específicos dos eixos de transformação digital, coloca-se a promoção do desenvolvimento de soluções tecnológicas nas áreas prioritárias de saúde, agronegócio, indústria e cidades inteligentes, justamente as quatro áreas verticais propostas pelo Plano Nacional de IoT – antes da inclusão do setor de turismo. Ainda, entre os objetivos envolvendo infraestrutura e acesso às TICs, destaca-se a expansão das redes de banda larga móvel e fixa, em áreas urbanas e rurais que seguem à margem da ampla conectividade, para alargar o acesso da população à internet e às tecnologias digitais.

Com relação à conectividade, a e-Digital propõe a utilização de recursos do Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações (Fust) como ação estratégica para o quadriênio 2022-2026, mediante a viabilização "da aplicação de recursos do Fust na expansão do acesso à banda larga e na ampliação de seu uso, tanto em ambientes urbanos como em áreas rurais e remotas" (Brasil, 2022c, p. 21). A partir de resultados do quadriênio 2018-2022, confirma-se a reformulação do Fust, bem como a edição da nova lei, a qual aguarda análise da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) para regulamentar sua operacionalização.

No que concerne à mão de obra em pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I), o documento reforça a necessidade de o Estado brasileiro atuar sobre os elementos que viabilizam e impulsionam as ações de PD&I – por exemplo, a democratização na formação do capital humano, na figura de engenheiros, cientistas e tecnólogos formados, além da criação de oportunidades no mercado de trabalho, ou seja, a retenção e a atração de talentos para o Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCTI). São várias as ações estratégicas para 2022-2026 relacionadas à educação e à capacitação profissional, as quais incluem conectar escolas públicas, urbanas e rurais, incorporar as tecnologias digitais nas práticas escolares, reforçar as disciplinas de matemática, ciências, tecnologias e engenharias, e promover o uso da tecnologia em sala de aula.

A IoT é ferramenta importante para promover o setor de PD&I e estimular investimentos públicos e privados nas áreas verticais selecionadas, representando 25,5% na demanda por emprego de TICs. A título de exemplo, por meio da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP) – organização social vinculada ao MCTI – foram realizadas chamadas com a União Europeia e os Estados Unidos em projetos de pesquisa relacionados a temas como 5G e IoT. Além disso, em 2021, ministros dos cinco países do grupo BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul) decidiram cooperar em iniciativas de inclusão digital, com ênfase na expansão da conectividade em áreas rurais remotas. No âmbito de governança da internet e transformação digital, o Brasil ainda participa de diálogos bilaterais com diversos países sobre temas como a IoT, além de compor, por meio do

Ministério das Relações Exteriores (MRE), o GT do Grupo dos Vinte (G20) relacionado à economia digital.

Ao fazer um diagnóstico para a transformação digital da economia, o documento coloca centralidade na IoT, conforme Brasil (2022c, p. 56):

> a infraestrutura para armazenamento e compartilhamento do crescente volume de dados criado a todo momento e em todas as esferas da sociedade é fundamental. Entre os responsáveis pela geração crescente de dados estão os dispositivos conectados (IoT), que demandam investimentos direcionados para o desenvolvimento de tecnologias na área. Além disso, por meio da IoT e de outras tecnologias, será possível implementar novos modelos de negócios, desde que sejam instituídos os marcos regulatórios, realizados investimentos e fomentados ecossistemas de inovação em TIC, com a participação de diversos setores da sociedade.

Para lidar com esses desafios associados à regulação, o documento propõe ações estratégicas que envolvem a promoção e a cooperação entre autoridades competentes, de forma a harmonizar marcos regulatórios relativos a dados, além de contribuir com processos normativos internacionais que visem facilitar a inserção internacional de empresas brasileiras.

Ressalta-se também a importância da celeridade na adoção da IoT, pois os benefícios potenciais das tecnologias nela baseadas parecem ser significativamente maiores para as economias que as adotem de forma rápida, quando comparados aos países seguidores – como o Brasil. Nesse sentido, considerando-se que as características de disseminação de tais tecnologias tendem a aumentar a distância entre países desenvolvidos, em desenvolvimento e pobres, reafirma-se a relevância do envolvimento de setores de governo, empresas e academia em iniciativas que fomentem a adoção e o desenvolvimento da IoT e de novas tecnologias digitais.

Com relação aos desafios para a utilização e a disseminação eficiente da IoT, pontos importantes são elencados: i) a necessidade de formação de profissionais com as competências básicas para desenvolver e utilizar as novas tecnologias digitais relacionadas aos dispositivos conectados; e ii) questões de confiança e de preservação dos direitos dos usuários sobre o uso de novas tecnologias disruptivas e o emprego ético destas (Brasil, 2022c, p. 68). Na adoção por parte das empresas, os desafios incluem: i) investimentos em equipamentos que incorporem as novas tecnologias; ii) adaptação de processos e das formas de relacionamento entre empresas ao longo da cadeia produtiva; e iii) criação de novas especialidades e desenvolvimento de competências (Brasil, 2022c, p. 68).[34] Entre as ações estratégicas voltadas a esse contexto, é possível citar a promoção e o fomento para

34. O documento utiliza estratégias de monitoramento e avaliação por meio de indicadores da e-Digital de forma ampla, elaborados pelo MCTI, pela Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) e por outras organizações internacionais de referência. Os tópicos de IoT estão inseridos nesse conjunto mais abrangente.

a massificação da adoção de soluções de TIC para micro e pequenas empresas (MPEs) e o desenvolvimento de programa de fortalecimento do empreendedorismo feminino nas áreas relacionadas à CT&I.

2.4 Políticas de fomento

A Lei nº 8.248 (Lei de Informática), de 23 de outubro de 1991(Brasil, 1991), a Lei nº 13.969, de 26 de dezembro de 2019 (Brasil, 2019b), e o Decreto nº 10.356, de 20 de maio de 2020 (Brasil, 2020), são os principais instrumentos legais que tratam de investimentos de empresas em PD&I no setor de TICs no Brasil.[35] A primeira nasceu com uma proposta claramente protecionista, mas já foi adaptada para atender aos princípios da Organização Mundial do Comércio (OMC), após reclamações de países-membros naquele órgão.

Em síntese, empresas que exerçam atividades de desenvolvimento ou produção de bens de TICs que atendam à Lei de Informática e ao Decreto nº 10.356 fazem jus a créditos financeiros. Esse arcabouço jurídico propiciou o desenvolvimento de diversos institutos de pesquisa de TICs, notadamente na região de Campinas (São Paulo), mas também em outras cidades, como Santa Rita do Sapucaí (Minas Gerais), Florianópolis (Santa Catarina) e Recife (Pernambuco).

Além da legislação e de instituições especializadas no tema de TICs, o setor conta com as organizações que fomentam a pesquisa e a inovação em sentido mais amplo: a Finep; o CNPq; o BNDES; as instituições do Sistema S – em particular, o Senai e o Sebrae; as federações estaduais da indústria e a CNI; a Embrapa; a ABDI; e, mais recentemente, a Embrapii.

Como forma de incentivar o desenvolvimento e a adoção da IoT no cenário nacional, diversas instituições oferecem linhas de financiamento e suporte técnico, entre outras políticas. Esta subseção abordará em mais detalhes algumas dessas oportunidades.

2.4.1 Políticas de fomento do lado da demanda

O BNDES Crédito Serviços 4.0[36] é um financiamento para contratação de serviços tecnológicos, credenciados pelo BNDES, associados à otimização da produção, à viabilização de projetos de manufatura avançada e à implantação de soluções de cidades inteligentes e outros similares. A IoT representa uma das categorias definidas como serviços tecnológicos, ao lado de, por exemplo, digitalização e manufatura avançada. Esse crédito do BNDES pode ser solicitado, conforme lista de fornecedores e serviços já credenciados no BNDES, por três

35. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/lei-de-tics. Acesso em: 16 out. 2022.
36. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/vanityurl/bndes-credito-servicos-4.0. Acesso em: 6 out. 2022.

tipos de atores: empresas sediadas no país, administração pública e produtores rurais. Com relação às características do financiamento, o BNDES pode ter participação de até 100% do investimento, com prazo total de dez anos, incluindo carência de até dois anos.

Uma parceria entre a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp), o Centro das Indústrias do Estado de São Paulo (Ciesp), o Senai e o Sebrae de São Paulo lançou em maio de 2022 a Jornada de Transformação Digital,[37] um programa com capacidade para atender 40 mil micro, pequenas e médias indústrias de todos os segmentos industriais no estado de São Paulo, com diferentes níveis de maturidade tecnológica. Esse suporte pode envolver até oito etapas de consultoria e treinamento, conforme descritas a seguir.

1) Diagnóstico: identificação de oportunidades para melhorias nos processos de negócios.
2) Estratégia: definição ou redefinição do modelo de negócios.
3) Otimização de processos: por meio de estudos envolvendo os conceitos de manufatura enxuta e eficiência energética.
4) Roteiro tecnológico rumo à indústria inteligente.
5) Automação: soluções em *hardware* e *software*.
6) Digitalização: implantação de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0.
7) Integração: integrações verticais e horizontais da cadeia produtiva.
8) Indústria inteligente: desenvolvimento de soluções inteligentes, possibilitando predição e adaptação dos processos industriais.

A partir das etapas 3 e 4, os consultores do programa apoiam as empresas em busca de fontes de fomento e financiamento.

2.4.2 Políticas de fomento do lado da oferta

A Finep e o MCTI lançaram, em 2020, o primeiro edital na temática de tecnologias 4.0, referente à Seleção Pública de Subvenção Econômica à Inovação nº 4.[38] A seleção visava ao fomento e à seleção de projetos de inovação nas temáticas agro 4.0, cidades inteligentes, indústria 4.0 e saúde 4.0, por meio da concessão de recursos de subvenção econômica para o desenvolvimento de produtos, processos e serviços inovadores dentro do escopo das respectivas linhas temáticas e tecnologias habilitadoras. O montante disponibilizado de recursos não reembolsáveis do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT)

37. Disponível em: https://jornadadigital.sp.senai.br/. Acesso em: 7 out. 2022.
38. Disponível em: http://www.finep.gov.br/chamadas-publicas/chamadapublica/643. Acesso em: 6 out. 2022.

totalizou R$ 50 milhões, sendo R$ 45 milhões divididos igualmente entre as áreas de agro 4.0, indústria 4.0 e saúde 4.0, e R$ 5 milhões para a área de cidades inteligentes.

Fernandes, Barros e Hamatsu (2020) buscaram caracterizar e avaliar, por meio da supramencionada seleção pública, a demanda para o apoio à inovação nas empresas brasileiras, com ênfase no agro 4.0. De maneira geral, os autores ressaltam que muitos projetos foram bem avaliados em todas as linhas temáticas, porém não receberam subvenção dado o limite disponível, o que aponta para a necessidade de continuidade do fomento à inovação no segmento 4.0. Os autores ainda avaliaram a relação entre o tamanho das empresas e o número de projetos submetidos e valores solicitados. As MPEs foram responsáveis por 57,8% do montante solicitado e 74,1% dos projetos enviados, enquanto esses percentuais para as empresas médias foram de 23,7% e 15,2%, respectivamente, e para as empresas grandes, de 18,5% e 10,7%. Ainda, as principais tecnologias habilitadoras autodeclaradas pelas empresas foram IA, computação em nuvem e internet das coisas. A região Sudeste destacou-se como maior demandante de recursos e maior proponente de projetos, com, respectivamente, 50,2% e 48,0% do total, liderada pelo estado de São Paulo. Não menos importante, a respeito das linhas temáticas, as maiores quantidades de projetos submetidos, e também escolhidos para receber financiamento, foram os da indústria 4.0, seguida das linhas de agro 4.0, saúde 4.0 e cidades inteligentes.

Em setembro de 2022, o MCTI e a Finep divulgaram nova seleção pública de subvenção econômica à inovação, com foco em empresas *startups* em tecnologias habilitadoras,[39] nas linhas temáticas de nanotecnologia, fotônica, acústica, materiais avançados e robótica. Com relação ao montante disponibilizado, a seleção prevê o comprometimento de recursos não reembolsáveis do FNDCT até o limite de R$ 50 milhões, distribuídos igualmente entre as cinco linhas temáticas.

A Embrapii oferece o Programa Prioritário (PPI) em IoT/Manufatura 4.0,[40] aprovado pelo MCTI, um mecanismo adicional para que as empresas beneficiadas pela Lei da Informática cumpram com as responsabilidades de PD&I. Nesse caso, os percentuais de gastos externos e internos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) podem ser depositados no PPI, cumprindo assim com a obrigação para obter o benefício fiscal previsto na lei. A Embrapii conta com uma rede de unidades credenciadas – centros de pesquisas de excelência com profissionais altamente qualificados, com atuação em todo o Brasil – para desenvolver projetos com os recursos do PPI IoT/Manufatura 4.0.

39. Disponível em: http://www.finep.gov.br/chamadas-publicas/chamadapublica/709. Acesso em: 7 out. 2022.
40. Disponível em: https://embrapii.org.br/programas-embrapii/leidetics/faq-ppi/. Acesso em: 7 out. 2022.

2.5 IoT e agronegócio

Conforme observado nas subseções anteriores, existem várias verticais onde a IoT pode ser utilizada. Como é inviável aprofundar todas as verticais no âmbito deste capítulo, optou-se por focar o segmento de agronegócio, que é detalhado nesta subseção. No setor rural, segundo Seixas e Contini (2017), a IoT envolve serviços de tecnologias da informação (TIs) e *software*, principalmente *big data* e ferramentas de gerenciamento de propriedades rurais. Entre os exemplos de aplicabilidade da IoT, é possível relacioná-la ao monitoramento do solo, quanto à verificação de umidade e níveis de nutrientes, por meio da análise de produtividade em pequenas parcelas, bem como ao acompanhamento do crescimento e possíveis surtos de doenças em culturas. Ainda, há utilização na pecuária, na otimização de equipamentos agrícolas, além de usos mais personalizados e eficientes de insumos e mão de obra, com consequente aumento da produtividade e dos rendimentos do negócio agrícola.

Segundo a literatura, também são encontradas melhorias no controle fitossanitário das exportações por meio da implementação de sistemas de rastreamento por IoT (Nogueira, 2020), e na qualidade do controle de desempenho zootécnico animal, na avaliação de processamento de alimentos, e na previsão de variáveis meteorológicas (Bertollo, Castillo e Busca, 2022). Soares *et al*. (2021, p. 9) destacam ainda que a ampliação da conectividade, por meio da geração de dados em maior escala e confiabilidade, além de permitir melhores tomadas de decisão aos produtores rurais,[41] pode proporcionar "ao governo formulação assertiva de novas políticas públicas, que poderão ser customizadas para determinadas regiões, resultando em eficiência e tempestividade das ações".

O número crescente de *startups* fornecedoras de sistemas para o agronegócio ilustra o potencial da aplicação da IoT no agronegócio. Seixas e Contini (2017) ressaltam os casos da Agrosmart[42] e da Strider, esta que hoje faz parte da empresa Syngenta,[43] como exemplos da vitalidade do setor privado brasileiro, enquanto Soares *et al*. (2021) complementam os casos de sucesso envolvendo *startups* do agronegócio ao mencionar a Ecotrace, atuante na área de rastreabilidade de carne bovina, de aves e de algodão, a Agrorobótica, que trabalha com análise inteligente do solo, e a Gestão Integrada de Recebíveis do Agronegócio (Gira), na área de tecnologia financeira (*financial technology – fintech*).

41. Barbosa e Martins (2021) sustentam que o conhecimento obtido com as análises de maiores quantidades de dados estará associado não somente ao processo produtivo agrícola, mas também auxiliará nas tomadas de decisão das esferas relacionadas a financiamento, seguros, logística, *marketing*, entre outras áreas-chave do agronegócio.

42. Disponível em: https://agrosmart.com.br/. Acesso em: 11 nov. 2022.

43. Disponível em: https://www.syngenta.com.br/press-release/institucional/syngenta-conclui-aquisicao-da-strider#:~:text=A%20Syngenta%20anunciou%20hoje%20que,a%20Syngenta%20e%20a%20Strider. Acesso em: 11 nov. 2022.

Alguns trabalhos buscaram caracterizar a relação entre IoT e agronegócio de acordo com publicações sobre o tema. Costa, Oliveira e Móta (2018) realizaram pesquisa exploratória no acervo de publicações da base de dados Scopus com o intuito de investigar o papel da IoT nas atividades agrícolas, em artigos escritos em inglês entre 2012 e 2017. Com 21 trabalhos analisados, os autores destacaram a área de cadeia de suprimentos como tema frequente de análise, e colocaram a IoT como ferramenta importante no gerenciamento das tomadas de decisão, além do monitoramento e da atuação na atividade agrícola. Como principais desafios, é mencionada a necessidade de contínua evolução de tecnologias subjacentes, bem como a falta de conectividade no campo.

Em outra análise qualitativa por meio de pesquisa bibliográfica em artigos científicos, *sites* e notícias, Barbosa e Martins (2021) colocaram a IoT como determinante para a potencialização e a expansão do agronegócio no Brasil, e reafirmaram sua capacidade em auxiliar nas tomadas de decisão por meio da utilização de sensores e *drones* combinados com *big data* e IA. Além disso, considerou-se a IoT como um fenômeno conduzido majoritariamente por atores globais, mas cuja implementação regional depende ainda de fatores culturais, econômicos e institucionais.

Em análise mais abrangente, Nogueira (2020) objetivou avaliar as potencialidades quanto à utilização da IoT no agronegócio em termos de impactos econômicos e disponibilidade de políticas públicas. Ao analisar as aplicações no âmbito rural presentes no estudo que serviu de base para a elaboração do Plano Nacional de IoT, o autor constatou o "processo de criação de um novo sistema nacional de inovação para a aplicação de IoT no agronegócio por meio da articulação entre governo, instituições de ensino e pesquisa e empresas" (*op. cit.*, p. 44).

Entre as dificuldades associadas à implementação da IoT no campo, a conectividade desponta como um dos principais desafios. Castillo e Bertollo (2022), ao avaliarem a presença de redes de internet no território brasileiro e as possibilidades para o campo, argumentam que a efetiva colocação em prática da IoT na produção agrícola depende do acesso à internet e aos dispositivos populares, como os *smartphones*. Estas seriam "condições indispensáveis para que o produtor rural possa se beneficiar do uso da tecnologia da informação empregada no campo" (*op. cit.*, p. 492).

Segundo Milanez *et al.* (2020), baseados na percepção de participantes de uma oficina de dois dias realizada na sede do BNDES, com a presença de mais de cem participantes, entre os quais representantes dos usuários de tecnologia, fornecedores e instituições que atuam no setor, a ausência ou limitação de

conectividade foi citada, em todos os painéis[44] do evento, como a principal barreira para a expansão do uso de IoT. Outros fatores relevantes apontados envolvem a dificuldade de percepção de valor quanto ao investimento necessário para adotar a IoT por parte dos produtores rurais, além da inexistência (ou percepção de inexistência) de financiamento adequado para a aquisição de serviços de IoT e da falta de incentivos relacionada ao desenvolvimento de tecnologias no setor.

De acordo com Milanez *et al*. (2020), dados do Censo Agropecuário de 2017, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), indicaram que a cobertura de banda larga em áreas rurais é baixíssima. Além disso, é preciso levar em conta que as demandas por conectividade variam a depender dos diversos atores, conforme exposto em Brasil (2021a, p. 30):

> embora recentemente haja grande movimento do setor agrícola mais tecnificado pelo uso de IoT nas diversas fases do processo produtivo, de armazenamento e de comercialização, há grande disparidade entre este tipo de demanda e as do produtor rural sem ou com pouco acesso não só à internet como a serviços essenciais como assistência técnica e extensão rural (Ater), saneamento básico, entre outros. Públicos diferentes carecem de estratégias diferentes no que diz respeito a políticas públicas que demandem conectividade no meio rural.

Brasil (2021a) buscou identificar as áreas com ausência de cobertura de banda larga no território nacional para então propor alternativas de ampliação da conectividade no meio rural baseadas em estratégias regionalizadas e caracterização dos produtores rurais em diferentes perfis. O estudo gerou, então, um mapa de orientação para a gestão, com soluções envolvendo investimentos privados ou desenvolvimento de políticas públicas, ou a combinação de ambos a depender da região, de forma a possibilitar uma priorização territorial de ações. Por fim, estimou-se a quantidade de antenas necessárias para aumentar a conectividade no campo, incluindo a hierarquização das mais prioritárias, em dois possíveis cenários. No primeiro, no qual 4.400 torres já existentes passaram a ter antenas de tecnologia 4G instaladas, os resultados indicaram aumento de quase 25% de cobertura nas áreas com necessidade de conexão. No segundo cenário, envolvendo novas instalações, da ordem de 15.182 novas antenas, atingiu-se a cobertura praticamente total do território rural com necessidade de conexão.

Uma análise alternativa da utilização de IoT no campo é desenvolvida por Bertollo, Castillo e Busca (2022). Os autores consideram que seu uso e difusão são social e territorialmente muito seletivos, de modo que duas variáveis combinadas dão uma dimensão dessa seletividade socioespacial:

44. A oficina foi dividida em quatro painéis: i) proteína animal; ii) culturas anuais (grãos e algodão); iii) frutas, legumes e verduras; e iv) culturas de ciclo longo (cana-de-açúcar e silvicultura).

- o agronegócio globalizado, produtor de *commodities* prioritariamente voltadas à exportação, concentrador de terra e de renda, e controlado por grandes empresas de comercialização e agroindústrias; e
- o meio técnico-científico e informacional, com presença assegurada pelo Estado e pelas grandes empresas nos lugares com maior potencial competitivo.

Quando interconectadas, essas variáveis geram as condições ideais para a proliferação das TIs no campo. Ademais, considera-se a condição das infraestruturas, efetivadas pelas antenas de telefonia móvel e pelos cabos de fibra ótica, como fator importante para explicar o crescimento da IoT no campo.

Ainda conforme Bertollo, Castillo e Busca (2022), as principais dificuldades para capilarizar a IoT no campo são a disparidade de renda dos produtores em distintas partes do território, a gigantesca concentração fundiária e a distribuição desigual das infraestruturas que promovem a acessibilidade à internet. Entre as soluções propostas pelos autores estão a instalação de estações rádio base (ERBs) em locais selecionados, custeadas pelos próprios produtores, pelo Estado ou por ambos; o uso de internet via satélite; e a utilização de plataformas como a *airband*.[45] De forma complementar, os autores defendem a importância da atuação de agentes públicos e instituições de pesquisa para prover conexão à internet, por meio de apoio técnico a pequenos produtores – por exemplo, com o uso de plataformas abertas e assessoria. Ainda, ressaltam o papel crescente dos provedores regionais para melhor distribuir a conexão à internet no campo, ao atenderem, sobretudo, às demandas de pequenos produtores rurais da agricultura familiar e de assentamentos.

Pinto e Freitas (2021) buscaram avaliar a aplicabilidade da IoT ao contexto da agricultura familiar no Brasil. Segundo os autores, a IoT pode oferecer avanços que envolvem melhor eficiência na utilização de insumos, redução de custos, sustentabilidade, além de segurança alimentar e proteção ambiental. Embora ressaltem a existência de problemas relacionados à durabilidade de dispositivos e à interoperabilidade, conclui-se pela possibilidade de transformação, pelo uso da IoT, da "agricultura familiar em uma agricultura inteligente e sustentável em razão da economia de recursos naturais e pela possibilidade de existência de menos externalidades negativas" (*op. cit.*, p. 699).

Entretanto, Bertollo, Castillo e Busca (2022) argumentam que a "incorporação da IoT no campo brasileiro estabelece um novo padrão de competitividade para os agentes hegemônicos e para as regiões produtivas mais especializadas, desvalorizando, portanto, as porções do território ocupadas pela agricultura familiar".

45. Essas plataformas são capazes de levar a conectividade aonde a internet não chega, por meio dos canais vazios de televisão (TV *white spaces*).

Nesse sentido, colocam como fundamental que "porções do território brasileiro onde predomina a agricultura familiar sejam contempladas com a expansão da informacionalização do campo, preferencialmente por políticas públicas nas diversas escalas de governo".

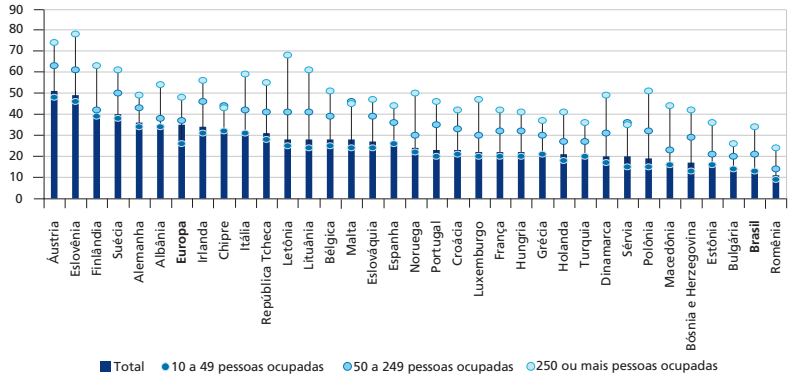
Um exemplo de atuação do governo federal para levar conectividade a assentamentos e localidades remotas com vocação para o agronegócio é a iniciativa do *hub* das Comunidades Rurais Conectadas, uma parceria do Mapa com o Ministério das Comunicações e governos estaduais. Por meio da conexão via satélite, a primeira fase do programa objetiva conectar 166 comunidades rurais, que incluem assentamentos, escolas e áreas rurais remotas, privilegiando regiões com demandas de desenvolvimento regional para o agronegócio. Os pontos estão distribuídos em 134 municípios de dez estados, prioritariamente das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste.[46] A conectividade em "áreas rurais isoladas promove inclusão social e estimula o cooperativismo, ampliando não somente informações que possam beneficiar essas comunidades, mas também as possibilidades de assistência técnica e extensão rural" (Brasil, 2022d).

3 COMPARAÇÃO INTERNACIONAL E CASOS DE SUCESSO

3.1 Comparação internacional

A comparação entre dados do Brasil e da Europa mostra que, considerando-se a utilização da IoT em sentido amplo, o Brasil encontra-se aquém da média europeia, e bem atrás dos países líderes, conforme pode ser observado no gráfico 2.

GRÁFICO 2
Empresas que utilizaram dispositivos inteligentes ou IoT, por país e porte (2021)
(Em % do total de empresas)



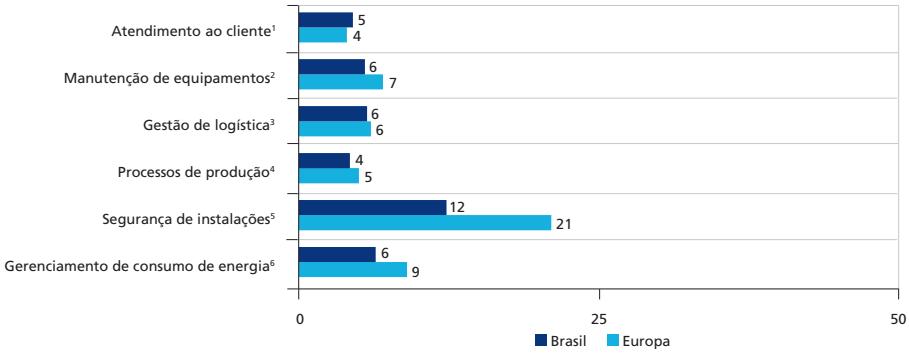
Fonte: Kubota e Lins (2022); CGI.br (2022); Eurostat (2021).

46. Disponível em: https://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/governo-inaugura-hub-da-iniciativa-comunidades-rurais-conectadas-em-ms/. Acesso em: 30 nov. 2022.

Como ilustrado no gráfico 2, em média, 35% das empresas europeias utilizaram dispositivos inteligentes ou IoT em 2021. Analisando-se os dados por porte da empresa, verifica-se que fizeram emprego dessas tecnologias 26% das empresas pequenas; 37% das médias; e 48% das grandes. A média brasileira é de 14% de empresas fazendo uso de IoT ou dispositivos inteligentes, sendo as porcentagens de 13% para as pequenas empresas; 21% para as médias; e 34% para as grandes. Os portes das empresas foram definidos pela quantidade de trabalhadores ocupados: de 10 a 49; de 50 a 249; e com 250 trabalhadores ou mais.

Entretanto, quando se analisa o uso estrito nos processos produtivos, observando-se a finalidade do emprego de IoT, é possível observar que a distância entre o Brasil e a Europa só é significativa em dois setores. São eles: i) gerenciamento de consumo de energia – medidores, termostatos ou lâmpadas inteligentes; e, principalmente, ii) segurança das instalações – sistemas de alarme, detectores de fumaça, travas de portas e câmeras de segurança inteligentes (gráfico 3). O último resultado é curioso, tendo em vista os elevados índices de criminalidade no Brasil, em comparação com a Europa.

GRÁFICO 3
Empresas que utilizaram dispositivos inteligentes ou IoT, por finalidade (2021)
(Em % do total de empresas)



Fonte: Kubota e Lins (2022); CGI.br (2022); Eurostat (2021).
Notas: [1] Câmeras ou sensores inteligentes monitorados ou controlados via internet para acompanhar as atividades dos clientes ou oferecer-lhes uma experiência de compra personalizada.
[2] Sensores monitorados ou controlados via internet para monitorar as necessidades de manutenção de máquinas ou veículos.
[3] Sensores monitorados ou controlados via internet para rastreamento de produtos ou veículos na gestão de depósito.
[4] Sensores ou etiquetas de identificação por radiofrequência monitorados ou controlados via internet, usados para monitorar ou automatizar processos.
[5] Sistemas de alarme, detectores de fumaça, travas de portas e câmeras de segurança inteligentes.
[6] Medidores, termostatos ou lâmpadas inteligentes.

3.2 Casos de sucesso

O *country of origin effect*, ou efeito do país de origem, é um conceito que pode ser definido como a influência que a origem do país que manufatura, monta ou desenha um bem tem na percepção positiva ou negativa daquele produto. Embora seja conhecido como um país exportador de *commodities* agrícolas e minerais, o Brasil também é produtor de bens de alta tecnologia, como os aviões da Embraer, e explora petróleo em condições extremamente adversas, o que requer tecnologias extraordinariamente sofisticadas.

Esta subseção tem o objetivo de ilustrar que há motivos para otimismo, mostrando que o país tem condições não só de implementar as tecnologias de IoT, mas também de desenvolvê-las em classe mundial. Os casos listados a seguir são exemplos de ganhos de produtividade para a economia.[47]

3.2.1 Mineração

A Vale utiliza, desde 2016, caminhões autônomos de mineração na mina de Brucutu, em São Gonçalo do Rio Abaixo (Minas Gerais). Desde 2019, todos os treze caminhões em operação são autônomos. A Vale já implementou, no total, 27 caminhões fora da estrada, 20 perfuratrizes e 34 máquinas de pátio (Fiemg, 2022).

Os caminhões são controlados por sistemas informatizados, sistema de posicionamento global (*global positioning system* – GPS), radares e IA. Sensores mapeiam de forma contínua o relevo, objetos e pessoas, evitando atropelamentos e colisões. O maior ganho com a introdução da tecnologia é o incremento da segurança. Desde o início do projeto, não houve acidentes causados pelos caminhões autônomos (Fiemg, 2022).

Em Itabira (Minas Gerais), as perfuratrizes autônomas apresentaram redução de 7,3% de combustível (aproximadamente 1.200 litros/ano), na comparação com as tripuladas. A redução equivalente de carbono (2.966 tCO2) necessitaria de uma área com 22 mil m^2 de florestas (Fiemg, 2022).

Em Brucutu, os pneus tiveram acréscimo de 25% na vida útil, mesmo percentual correspondente ao aumento da vida útil dos motores. Dado que a troca de cada motor custa R$ 2,5 milhões (Fiemg, 2022), trata-se de um interessante exemplo de contribuição da IoT para a produtividade da firma e da economia.

3.2.2 Agricultura

O CPqD, com apoio da Finep e do BNDES, desenvolveu o projeto AgroTICs, que criou uma rede móvel privada e de banda larga, específica para áreas remotas, e participou do desenvolvimento de uma rede móvel privada para o grupo

47. Os casos foram selecionados a partir da revisão da literatura, das notícias veiculadas na imprensa de negócios e das entrevistas realizadas.

São Martinho. A solução desenvolvida pelo CPqD é composta de uma ERB e de terminais veiculares adaptados aos requisitos operacionais das usinas de cana-de-açúcar.

A empresa possui um Centro de Operações Agrícolas (COA), no qual todos os dados do campo são controlados em tempo real. Por meio da utilização de IA, são otimizados os processos e o desempenho dos equipamentos, e potenciais pragas são detectadas (São Martinho, 2021, p. 26).

3.2.3 Monitoramento de cargas[48]

Outro exemplo foi o desenvolvimento pelo Centro de Pesquisas Avançadas Wernher von Braun da *tag* de ultra-alta frequência utilizada por milhões de veículos nos pedágios brasileiros, assim como dos sensores para identificar, rastrear e autenticar bens produzidos no Brasil.[49]

A solução do instituto foi a primeira do mundo a utilizar criptografia avançada, e a entidade participou de modo decisivo na redação da norma internacional sobre o assunto (ISO 29167-10).

Um modelo de negócios de mobilidade como serviço permite o comissionamento de equipamentos de rede já disponíveis e viabiliza o rastreamento de ativos e cargas em veículos em rodovias no Centro-Sul e no litoral do país, de modo já compatível com a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD – Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018).[50] Esse tipo de tecnologia representa um potencial de reduzir o elevado sobrepreço no valor dos produtos, em função do alto risco do roubo de carga no país, que representaram valores superiores a R$ 1 bilhão em 2021, de acordo com levantamentos do setor.[51]

3.2.4 Cidades inteligentes

O município de São José dos Campos foi o primeiro do Brasil a ser certificado como cidade inteligente pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).[52] Para atingir esse feito, o município investiu em recursos tecnológicos, inclusive tecnologia de IoT. Com a implantação do serviço Sigpark, que utiliza mais de 4 mil dispositivos, os motoristas recebem a informação de onde há maior concentração de vagas livres para estacionar nas ruas da cidade.[53]

---

48. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Gkad6OGNaZc. Acesso em: 16 out. 2022.

49. Disponível em: https://www.thetechnologyheadlines.com/magazine/subscription/web/shared/Dariofhdfe4695/.

50. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm. Acesso em: 25 jan. 2023.

51. Disponível em: https://www.portalntc.org.br/ntclogistica-divulga-pesquisa-do-roubo-de-cargas-2021/#:~:text=Confira%20aqui%20a,Compartilhe%20isso%3A. Acesso em: 17 out. 2022.

52. Disponível em: https://g1.globo.com/sp/vale-do-paraiba-regiao/especial-publicitario/prefeitura-de-sao-jose-dos-campos/minha-sao-jose/noticia/2022/03/18/sao-jose-e-certificada-a-primeira-cidade-inteligente-do-brasil.ghtml.

53. Disponível em: https://tiinside.com.br/29/04/2021/com-o-titulo-de-cidade-inteligente-sao-jose-dos-campos-investe-em-iot/. Acesso em: 26 out. 2022.

FIGURA 5
Serviço Sigpark em São José dos Campos

Fonte: Foto por Claudio Vieira, da Prefeitura Municipal de São José dos Campos.

4 PROPOSTAS DE POLÍTICAS

Nesta seção serão apresentadas três propostas de políticas, que foram as mais destacadas no âmbito das entrevistas realizadas: formação e contratação de talentos, fomento à demanda e, devido ao foco do texto, conectividade no campo.[54]

4.1 Formação e contratação de talentos[55]

Segundo diversas organizações setoriais, existe uma falta expressiva de profissionais qualificados de TICs no Brasil. Análise desenvolvida pelos autores, com base em dados da Relação Anual de Informações Sociais (Rais), do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), indica que o salário dos programadores teve valorização acima da inflação no período de 2010 a 2020, o que parece confirmar a demanda acima da oferta nesse mercado.

Várias empresas têm promovido cursos de formação. Algumas firmas têm se queixado que profissionais brasileiros têm sido contratados – virtual ou presencialmente – por empresas estrangeiras. Nesse quesito, deve-se avaliar a facilitação

54. A IoT envolve uma série de questões regulatórias que não são o foco deste capítulo. As propostas, limitadas em escopo, foram inspiradas pelas entrevistas. Para exemplos de políticas ligadas às telecomunicações, ver: https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/Documents/Events/2018/IoT-BDG/IoT_Policy_Sept26%20Ismail%20Shah.pdf. Acesso em: 9 jul. 2023.

55. O Ipea está desenvolvendo uma pesquisa sobre trajetórias ocupacionais de profissionais de TI.

da contratação de profissionais latino-americanos, que sejam capazes de compreender o idioma português, e em países onde o câmbio seja favorável para esta contratação. Devem-se também desenvolver programas para aumentar a formação e a contratação de profissionais do sexo feminino, que são minoria no setor.

Em prazo mais longo, existem programas bem estruturados de identificação de talentos de raciocínio lógico-quantitativo em tenras idades no Brasil: as Olimpíadas do Conhecimento, em particular a Olimpíada Brasileira de Matemática das Escolas Públicas (Obmep),[56] a Olimpíada Brasileira de Informática (OBI)[57] e a recém-lançada Olimpíada Brasileira de Chip (Obchip).[58] A Obmep promove o Programa de Iniciação Científica Jr. (PIC), oferecido a todos os vencedores de medalhas no certame. Uma bolsa de R$ 100 e aulas são oferecidas aos bolsistas. Programa semelhante voltado para as TICs poderia ser oferecido aos medalhistas da Obmep e da OBI, desenvolvendo competências para futuros profissionais que utilizarão tais conhecimentos em suas trajetórias profissionais, no próprio setor de TICs ou em outros segmentos.

Deve-se incentivar também na educação básica – especialmente com a oportunidade dada pelos itinerários formativos da nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC) do ensino médio[59] – o ensino baseado em metodologias ativas e o desenvolvimento de espaços *maker* ("mão na massa").[60]

4.2 Fomento à demanda

Conforme apresentado na seção 2, existe um robusto sistema setorial de inovação no Brasil, com a oferta de um grande leque de programas de apoio à produção tecnológica. Entretanto, como já é de pleno conhecimento no que diz respeito à inovação de produtos ou processos para o mercado no Brasil, os indicadores não são favoráveis, especialmente com relação às empresas médias e pequenas (ABDI, 2019).

A mesma seção também apresentou a Jornada de Transformação Digital, desenvolvida pelo Sistema S de São Paulo, uma proposta muito abrangente e bem desenhada de apoio à adoção das TICs pelas empresas. O surgimento de casos de sucesso a partir de iniciativas como esta pode ter um efeito demonstração para que outras empresas busquem melhorar suas atividades. Trata-se de programa que merece ser replicado e disseminado pelo país.

56. Disponível em: http://www.obmep.org.br/. Acesso em: 25 jan. 2023.
57. Disponível em: https://olimpiada.ic.unicamp.br/. Acesso em: 25 jan. 2023.
58. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=JiAWF8npWM4. Acesso em: 26 jan. 2023.
59. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/. Acesso em: 25 jan. 2023.
60. Há um interessante programa para o desenvolvimento de espaços *maker* paulistas, disponível em: https://makerspaceiot.febrace.org.br/. Acesso em: 16 dez. 2022.

A expansão da adoção vai depender em grande medida da atuação das organizações setoriais do próprio setor privado, mas o governo federal pode criar um portal de divulgação de boas iniciativas. Um excelente exemplo a ser considerado é o Internet of Food and Farm 2020, da União Europeia.[61] O portal apresenta diferentes casos de aplicação de IoT no campo, como o monitoramento analítico da criação de suínos e aves, a rastreabilidade de alimentos e a otimização da tomada de decisão na cadeia de suprimentos de bovinos, viabilizando também o contato com as equipes desenvolvedoras da solução.

É importante notar dois pontos nesse quesito. O primeiro deles é que existe uma dificuldade técnica, em função de vários aspectos que devem ser considerados na implantação de projetos de IoT: o *hardware* (dispositivos), a conectividade, a interoperabilidade, a rede, a segurança da informação, muitas vezes com a necessidade de atuação das chamadas integradoras. Por isso, deve-se ampliar a ênfase na inovação de processos, quando historicamente as políticas privilegiaram a inovação de produtos. O segundo ponto a se ressaltar é que metodologias como a proposta, por exemplo, pela Jornada de Transformação Digital pressupõem uma evolução em etapas. Primeiro, é necessário efetuar o trabalho de base, de análise da estratégia e dos produtos, para depois se disseminarem os projetos tecnológicos. É fundamental que os fornecedores de soluções desenvolvam diferentes modelos de negócio, propiciando a opção entre maior gasto de capital ou de custeio, de modo a atender às necessidades dos clientes.

4.3 Conectividade no campo

A falta de conectividade no campo obviamente é um obstáculo à expansão das tecnologias de IoT no agronegócio brasileiro. Mesmo no estado de São Paulo, o mais rico do país, esta é uma realidade que deve ser tratada com atenção. Uma alternativa promissora capaz de acelerar a mudança desse cenário refere-se à utilização de recursos do Fust para ampliação da cobertura no campo (Cruz, 2022). Conforme o Decreto nº 11.004, de 21 de março de 2022 (Brasil, 2022a) – que regulamentou a Lei nº 9.998, de 17 de agosto de 2000 (Brasil, 2000), a qual instituiu o Fust –, um dos objetivos para os quais os recursos do fundo passam a ser destinados contempla a inovação tecnológica de serviços de telecomunicações no meio rural. Tal iniciativa tem apoio político (Haje, 2022) e do meio empresarial – por exemplo, da Associação ConectarAgro (Julião, 2022) –, além de estar sendo discutida e fomentada por fóruns e GTs da Câmara Agro 4.0. Ainda, é importante que os recursos do Fust não sejam contingenciados.

Até o momento de produção deste livro, a Lei nº 14.475, de 13 de dezembro de 2022 (Brasil, 2022b), que cria a Política Nacional de Incentivo à Agricultura

61. Disponível em: https://www.iot-catalogue.com/. Acesso em: 26 out. 2022.

e Pecuária de Precisão (Feiten, 2023), permanece aguardando regulamentação. O texto prevê uma série de medidas que pode beneficiar a introdução das tecnologias de IoT no campo, tais como: a criação de redes de pesquisa direcionadas ao acesso dos pequenos e médios proprietários à agricultura e à pecuária de precisão; a criação de instrumentos de financiamento; e o estímulo a investimentos que permitam a cobertura de internet nas áreas rurais do país (Brasil, 2022b).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entre os desafios que cercam a popularização da IoT no Brasil, o principal é que a adoção não se limite a casos de sucesso, verificados especialmente entre as grandes firmas, mas que ganhe escala e seja uma realidade também nas pequenas e médias empresas. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho envolveu caracterizar a IoT no Brasil por meio de diferentes análises, fazer o levantamento de casos de sucesso, além de comparar o país com o contexto internacional, para então propor políticas públicas.

Com relação à caracterização do cenário nacional de IoT, partiu-se inicialmente de uma análise bibliométrica que contempla 179 documentos publicados entre os anos de 2013 e 2022, com o intuito de fornecer resultados indicativos das principais tendências desse campo. Em seguida, examinou-se o Plano Nacional de IoT, instituído pelo Decreto nº 9.854, de 25 de junho de 2019, e a sua relação com a e-Digital. Ainda, realizou-se uma revisão de literatura com ênfase na aplicação de IoT no agronegócio – a qual realça o potencial da utilização das tecnologias no campo e detalha os principais desafios para a efetiva implementação –, bem como o levantamento das principais políticas de fomento aplicáveis à IoT no Brasil, tanto do lado da demanda quanto da oferta.

A comparação internacional, tendo a Europa como contraparte, avaliou tanto a porcentagem de empresas que utilizam alguma tecnologia de IoT quanto quais são as principais tecnologias adotadas. Por seu turno, os casos de sucesso nacionais englobam setores como os de mineração – caminhões autônomos da Vale; agricultura – COA na Usina São Martinho; monitoramento de cargas – *tag* de ultra-alta frequência utilizada por veículos; e cidades inteligentes – serviço Sigpark em São José dos Campos. Por fim, foram discutidas propostas de políticas públicas no âmbito de quatro tópicos principais: i) regulação; ii) formação e contratação de talentos; iii) fomento à demanda; e iv) conectividade no campo.

Em suma, o Brasil está bem servido do lado da oferta, mas precisa ser capaz de multiplicar os casos de sucesso, bem como de fomentar a adoção da IoT pelas pequenas e médias empresas e pelos empreendimentos agrícolas.

REFERÊNCIAS

ABDI – AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Sondagem de inovação**: estudos e pesquisas para subsidiar a elaboração de políticas e projetos relacionados ao desenvolvimento produtivo e à inovação industrial no Brasil, assim como para o desenvolvimento de ações de fomento ao desenvolvimento tecnológico e regional. Brasília: ABDI; FGV Projetos, 2019. Disponível em: https://api.abdi.com.br/file-manager/upload/files/Sondagem_Inovacao_3_Trim_2019.pdf.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: an R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, nov. 2017.

BARBOSA, R. A. P.; MARTINS, A. V. S. Agribusiness and the Internet of Things: challenges and opportunities. **Technology Sciences**, v. 3, n. 1, p. 12-19, 2021.

BERTOLLO, M.; CASTILLO, R. A.; BUSCA, M. D. Internet das coisas (IoT) e novas dinâmicas da produção agrícola no campo brasileiro. **Confins**: Revista Franco-Brasileira de Geografia, n. 56, 2022.

BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Produto 3**: análise de oferta e demanda. Rio de Janeiro: BNDES, 2017. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivosinternetdascoisas/fase1_3f_analise-de-horizontais.pdf. Acesso em: 3 out. 2022.

_____. **Produto 9a**: relatório final do estudo. Rio de Janeiro: BNDES, 2018a. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivosinternetdascoisas/fase3_9a_relatorio-final-do-estudo.pdf. Acesso em: 4 out. 2022.

_____. **Desenho do modelo de governança para o Plano Nacional de IoT**. Rio de Janeiro: BNDES, 2018b. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivosinternetdascoisas/fase4_10_desenho-do-modelo-de-governanca-para-o-pniot.pdf. Acesso em: 4 out. 2022.

BONILLA, C. A.; MERIGÓ, J. M.; TORRES-ABAD, C. Economics in Latin America: a bibliometric analysis. **Scientometrics**, v. 105, n. 2, p. 1239-1252, 2015.

BRASIL. Lei nº 8.248, de 23 de outubro de 1991. Dispõe sobre a capacitação e competitividade do setor de informática e automação. **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 out. 1991. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8248.htm. Acesso em: 25 jan. 2023.

_____. Lei nº 9.998, de 17 de agosto de 2000. Institui o Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 ago. 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9998.htm. Acesso em: 25 jan. 2023.

_____. Decreto nº 9.319, de 21 de março de 2018. Institui o Sistema Nacional para a Transformação Digital e estabelece a estrutura de governança para a implantação da Estratégia Brasileira para a Transformação Digital. **Diário Oficial da União**, Brasília, 22 mar. 2018. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9319.htm. Acesso em: 1º dez. 2022.

_____. Decreto nº 9.854, de 25 de junho de 2019. Institui o Plano Nacional de Internet das Coisas e dispõe sobre a Câmara de Gestão e Acompanhamento do Desenvolvimento de Sistemas de Comunicação Máquina a Máquina e Internet das Coisas. **Diário Oficial da União**, Brasília, 26 jun. 2019a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9854.htm. Acesso em: 4 out. 2022.

_____. Lei nº 13.969, de 26 de dezembro de 2019. Dispõe sobre a política industrial para o setor de tecnologias da informação e comunicação e para o setor de semicondutores e altera a Lei nº 11.484, de 31 de maio de 2007, a Lei nº 8.248, de 23 de outubro de 1991, a Lei nº 10.637, de 30 de dezembro de 2002, e a Lei nº 8.387, de 30 de dezembro de 1991. **Diário Oficial da União**, Brasília, 27 dez. 2019b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/lei/L13969.htm. Acesso em: 25 jan. 2023.

_____. Decreto nº 10.356, de 20 de maio de 2020. Dispõe sobre a política industrial para o setor de tecnologias da informação e comunicação. **Diário Oficial da União**, Brasília, 21 maio 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10356.htm. Acesso em: 25 jan. 2023.

_____. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Cenários e perspectivas da conectividade para o agro**. Brasília: Mapa, 2021a. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/conectividade-rural/livro/view. Acesso em: 26 out. 2022.

_____. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Câmara da Indústria 4.0**: Plano de Ação 2019-2022. Brasília: MCTI, 2021b. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivo-camara-industria/ci-plano-de-acao_2019-2022_2022-06-08.pdf. Acesso em: 5 out. 2022.

_____. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano de Ação da Câmara do Agro 4.0**: 2021-2024. Brasília: MCTI; Mapa, 2021c. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivoscamaraagro/ca_plano-de-acao-2021-2024_26-04-2021.pdf. Acesso em: 5 out. 2022.

_____. Decreto nº 11.004, de 21 de março de 2022. Regulamenta a Lei nº 9.998, de 17 de agosto de 2000, que institui o Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações. **Diário Oficial da União**, Brasília, 22 mar. 2022a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D11004.htm. Acesso em: 25 out. 2022.

_____. Lei nº 14.475, de 13 de dezembro de 2022. Institui a Política Nacional de Incentivo à Agricultura e Pecuária de Precisão para ampliação da eficiência na aplicação de recursos e insumos de produção, de forma a diminuir o desperdício, reduzir os custos de produção e aumentar a produtividade e a lucratividade, bem como garantir a sustentabilidade ambiental, social e econômica. **Diário Oficial da União**, Brasília, 14 dez. 2022b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14475.htm. Acesso em: 25 jan. 2023.

_____. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estratégia Brasileira para a Transformação Digital (e-Digital)**: ciclo 2022-2026. Brasília: CGEE; MCTI, 2022c. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivosestrategiadigital/e-digital_ciclo_2022-2026.pdf. Acesso em: 18 nov. 2022.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Programa Comunidades Rurais Conectadas**. Brasília: Mapa, 2022d. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/agrohub-brasil/produtores-rurais/internet-no-campo-1/internet-no-campo. Acesso em: 30 nov. 2022.

CASTILLO, R.; BERTOLLO, M. Mobilidade geográfica como direito social: uma discussão sobre o acesso à internet no campo brasileiro. **Revista da Anpege**, v. 18, n. 36, 2022.

CGI.br – COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL. **Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nas empresas brasileiras**: TIC Empresas – 2021. São Paulo: Comitê Gestor da Internet no Brasil, 2022. Disponível em: https://cetic.br/media/docs/publicacoes/2/20221121122540/tic_empresas_2021_livro_eletronico.pdf.

COSTA, C. L.; OLIVEIRA, L.; MÓTA, L. M. S. Internet das coisas (IoT): um estudo exploratório em agronegócios. *In*: SIMPÓSIO DA CIÊNCIA DO AGRONEGÓCIO, 6., 2018, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Anais**... Porto Alegre: Faculdade de Agronomia, 2018. Disponível em: https://www.ufrgs.br/cienagro/wp-content/uploads/2018/10/Internet-das-coisas-IOT-um-estudo-explorat%C3%B3rio-em-agroneg%C3%B3cios.docx-Cain%C3%A3-Lima-Costa.pdf. Acesso em: 11 nov. 2022.

CRUZ, C. Ministério da Agricultura pretende atrair conectividade por meio de benefício fiscal. **Tele.síntese**, Brasília, 20 set. 2022. Disponível em: https://www.telesintese.com.br/ministerio-da-agricultura-pretende-atrair-conectividade-por-meio-de-beneficio-fiscal/. Acesso em: 28 mar. 2023.

EUROSTAT. Instituto de estatísticas da Comissão Europeia. **Community survey on ICT usage and e-commerce in enterprises**. Luxembourg: Eurostat, 2021. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/isoc_e_esms.htm.

FEITEN, P. Lei amplia acesso à agricultura de precisão para pequenas e médias propriedades rurais do Brasil. **Correio do Povo**, 21 jan. 2023. Disponível em: https://www.correiodopovo.com.br/especial/lei-amplia-acesso-%C3%A0-agricultura-de-precis%C3%A3o-para-pequenas-e-m%C3%A9dias-propriedades-rurais-do-brasil-1.975281. Acesso em: 28 mar. 2023.

FERNANDES, A. do N. M.; BARROS, M. A. da C.; HAMATSU, N. K. Trend of Technologies 4.0 in Brazil: what does the demand about the Public Selection MCTI/FINEP/FNDCT Grant to Innovation 04/2020 tell us? **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n. 5, 2020.

FIEMG – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Uso de caminhões autônomos na mineração aumenta segurança e reduz emissões de carbono. **Valor Econômico**, 30 ago. 2022. Disponível em: https://valor.globo.com/conteudo-de-marca/fiemg/noticia/2022/08/30/uso-de-caminhoes-autonomos-na-mineracao-aumenta-seguranca-e-reduz-emissoes-de-carbono.ghtml. Acesso em: 28 mar. 2023.

HAJE, L. Deputado quer garantir aplicação de recursos do Fust para conectar meio rural. **Agência Câmara de Notícias**, 12 jul. 2022. Disponível em: https://www.camara.leg.br/noticias/896973-deputado-quer-garantir-aplicacao-de-recursos-do-fust-para-conectar-meio-rural. Acesso em: 28 mar. 2023.

JULIÃO, H. ConectarAgro quer toda área agrícola do Brasil coberta em seis anos. **Teletime**, 6 maio 2022. Disponível em: https://teletime.com.br/06/05/2022/conectaragro-quer-toda-area-agricola-do-brasil-coberta-em-seis-anos/. Acesso em: 28 mar. 2023.

KUBOTA, L. C. *et al*. Infraestrutura e produtividade no Brasil: análise e recomendação de políticas. *In*: SILVA FILHO, E. B.; OLIVEIRA, J. M. de; ARAÚJO, B. C. P. O. de (Org.). **Eficiência produtiva**: análise e proposições para aumentar a produtividade no Brasil. Brasília: Ipea, 2022. p. 115-154. (Publicação Preliminar). Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/11617.

KUBOTA, L. C.; LINS, L. M. Novas tecnologias e inovação em empresas. **Panorama Setorial da Internet**, v. 3, p. 1-10, set. 2022.

KUBOTA, L. C.; ROSA, M. B. Internet das coisas no Brasil: breve descrição de políticas e casos de sucesso. **Radar**: tecnologia, produção e comércio exterior, Brasília, n. 71, p. 17-23, dez. 2022. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/11628.

KULEVICZ, R. A. *et al*. Influence of sustainability reports on social and environmental issues: bibliometric analysis and the word cloud approach. **Environmental Reviews**, v. 28, n. 4, p. 380-386, dez. 2020.

LACERDA, F. **Análise *ex ante* do Plano Nacional de Internet das Coisas (IoT)**: ambiente cidades inteligentes. Brasília: Instituto Serzedello Corrêa, dez. 2020. (Texto para Discussão, n. 3). Disponível em: https://portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8A81881E76619C76017671D15FA3442E. Acesso em: 7 out. 2022.

MADAKAM, S.; RAMASWAMY, R.; TRIPATHI, S. Internet of Things (IoT): a literature review. **Journal of Computer and Communications**, v. 3, n. 5, p. 164-173, 2015.

MARI, A. Brazilian government launches first IoT research center. **Zdnet**, 14 jul. 2021. Disponível em: https://www.zdnet.com/article/brazilian-government-launches-first-iot-research-center/. Acesso em: 29 mar. 2023.

MILANEZ, A. Y. *et al*. Conectividade rural: situação atual e alternativas para superação da principal barreira à agricultura 4.0 no Brasil. **BNDES Setorial**, v. 26, n. 52, p. 7-43, 2020. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/20180/1/PR_Conectividade%20rural_BD.pdf. Acesso em: 4 nov. 2022.

MOURA, C.; SOUSA, R. **IoT aplicado ao monitoramento inteligente de distribuição de água**. São Paulo: Unicamp, 2019. Disponível em: https://smartcampus.prefeitura.unicamp.br/pub/artigos_relatorios/Rafael-IoT_Aplicado_ao_Monitoramento_Inteligente_de_Distribuicao_de_Agua.pdf. Acesso em: 26 jan. 2023.

NERY, C. Nova PNAD TIC vai investigar *streaming*, 5G, internet das coisas, aplicativos e teletrabalho. **Agência IBGE Notícias**, 20 set. 2022. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/34974-nova-pnad-tic-vai-investigar-streaming-5g-internet-das-coisas-aplicativos-e-teletrabalho. Acesso em: 29 mar. 2023.

NOGUEIRA, A. C. L. Internet das coisas no agronegócio: fundamentos e políticas. **Boletim Informações Fipe**, n. 475, p. 39-44, abr. 2020.

PHASINAM, K. *et al*. Application of IoT and cloud computing in automation of agriculture irrigation. **Journal of Food Quality**, v. 2022, p. 1-8, jan. 2022.

PINTO, N. D. F.; FREITAS, V. P. de. Histórico e importância da agricultura familiar no Brasil: contexto legal e a aplicabilidade da internet das coisas. **Revista Jurídica Cesumar**, v. 21, n. 3, p. 687-703, dez. 2021.

SÃO MARTINHO. **Relatório anual e de sustentabilidade**: safra 2019/2020. Pradópolis: São Martinho, 2021. Disponível em: https://www.saomartinho.com.br/Download.aspx?Arquivo=pfvuAA7Y9+cJ2N7rhlMTfw==&IdCanal=E/5CI5hbGiTfjZ7mhu2y5w==. Acesso em: 16 out. 2020.

SEIXAS, M. A.; CONTINI, E. **Internet das coisas (IoT)**: inovação para o agronegócio. Brasília: Embrapa, nov. 2017. (Diálogos Estratégicos). Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1094005/1/Internetdascoisas1.pdf. Acesso em: 11 nov. 2022.

SOARES, C. O. *et al*. **Perspectivas para o agronegócio brasileiro**: inovação e tecnologias digitais amplificando a voz do campo. Rio de Janeiro: PUC Rio, jul. 2021. Disponível em: https://campoconectado.les.inf.puc-rio.br/wp-content/uploads/2022/03/I.6_Perspectivas-para-o-Agro-no-Brasil-1.pdf. Acesso em: 4 nov. 2022.

ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric methods in management and organization. **Organizational Research Methods**, v. 18, n. 3, p. 429-472, jul. 2015.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

BRASIL. Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997. Dispõe sobre a organização dos serviços de telecomunicações, a criação e funcionamento de um órgão regulador e outros aspectos institucionais, nos termos da Emenda Constitucional nº 8, de 1995. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 jul. 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9472.htm. Acesso em: 25 jan. 2023.

_____. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº 149, de 2019**. Institui a Política Nacional de Incentivo à Agricultura e Pecuária de Precisão para ampliação da eficiência na aplicação de recursos e insumos de produção, de forma a diminuir o desperdício, reduzir os custos de produção, aumentar a produtividade e a lucratividade, bem como garantir a sustentabilidade ambiental, social e econômica. Brasília: Senado Federal, 2019. Disponível em: https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/140314.

HONG, E. K.; RYU, J. M.; LEE, E. J. H. **Entering the 5G Era**: lessons from Korea. Washington, District of Columbia: World Bank, jun. 2021. Disponível em: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35780. Acesso em: 25 jan. 2023.

CAPÍTULO 5

IMPLEMENTAÇÃO DA TECNOLOGIA 5G NO CONTEXTO DA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E DA INDÚSTRIA 4.0[1]

Robert Spadinger[2]

1 INTRODUÇÃO

O mundo das telecomunicações, da tecnologia da informação e da mídia continua convergindo e influenciando de todas as formas o comportamento das pessoas, das empresas e dos governos. A internet, mais do que nunca, está em todos os meandros de nossas vidas, desde uma simples chamada telefônica, passando por processos internos e pelo controle de empresas, até a influência e decisão de eleições, sendo a mais poderosa alavanca de transformação da sociedade, responsável por produzir mudanças econômicas, sociais, políticas e culturais em todo o mundo.

O setor de telecomunicações continua sendo fundamental para qualquer país e deve ser visto de forma diferenciada, uma vez que os serviços oferecidos são essenciais para a geração de valor da atual e das futuras gerações. Os desenvolvimentos acontecem de forma tão acelerada que já nem sabemos como era viver sem esses desenvolvimentos, mesmo que tenham acontecido há cerca de vinte anos somente. Hoje, grande parte da população usufrui de serviços móveis por intermédio de *smartphones*, vídeo sob demanda ou internet de alta velocidade por meio de fibras ópticas. Ainda assim há muito por se fazer, principalmente no que tange à melhoria dos serviços com a cobertura adequada.

Se, por um lado, novas tecnologias oferecem novas oportunidades e novos negócios, por outro lado, a própria dinâmica do mercado mostra que algo tem que ser feito em termos regulatórios, para que a infraestrutura seja, de fato, construída e todos consigam usufruir dela. O negócio telecomunicações mudou muito nos últimos anos. Enquanto inicialmente as empresas de telecomunicações traziam a todos os serviços pela primeira vez e cresciam ano após ano, hoje em dia lutam para manter as demandas cada vez maiores e para se reinventar constantemente. Nesse período, muitas operadoras e fornecedores deixaram de existir, sendo engolidas ou engolindo outros no processo, a uma velocidade não vista anteriormente. A demanda por tráfego cresce continuamente, de forma mais acelerada do que os investimentos das operadoras conseguem ser viabilizados.

---

1. Este capítulo é uma versão atualizada da *Nota Técnica* nº 79, publicada em 2021 pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10419/1/NT_79_Diset_ImplementacaoTecnologia5G_Industri4.0.pdf.

2. Consultor sênior de telecomunicações na Capgemini; e consultor do Programa de Cooperação entre a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) e o Ipea.

1.1 Objetivo geral

O objetivo da consultoria foi desenvolver um estudo que sirva de subsídio para as políticas de desenvolvimento do ecossistema de bens e serviços associados à infraestrutura 5G no Brasil, que terá profundo impacto na indústria e na sociedade nos próximos dez anos.

Além disso, o objetivo primordial do estudo foi desenvolver análises sobre: i) a situação atual do mercado europeu de 5G; ii) a situação atual e as perspectivas dos serviços e das tecnologias associadas ao 5G na Europa: internet das coisas (*internet of things* – IoT) e indústria 4.0; e iii) as perspectivas para o 5G e os serviços e as tecnologias associadas ao 5G no Brasil.

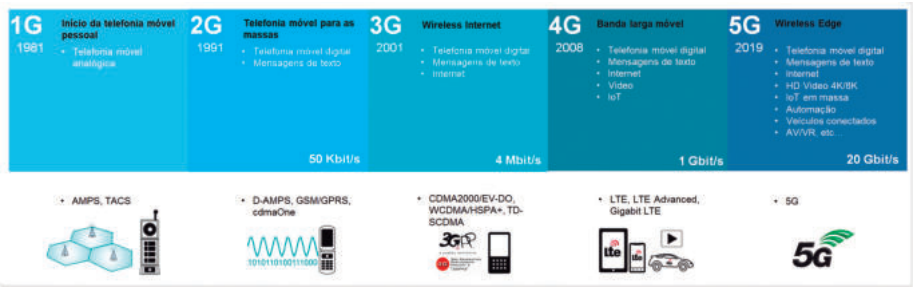
2 PANORAMA DO CENÁRIO INTERNACIONAL DE 5G

2.1 O que é de fato o 5G?

No momento, muito se discute sobre o 5G e todas as maravilhas que, em breve, ele poderá realizar. Fala-se em uma completa revolução, uma tecnologia que tornará tudo possível, em que tudo e todos se conectarão. De fato, o novo padrão da telefonia móvel celular traz consigo muitas promessas, que ainda terão de ser desenvolvidas.

A figura a seguir mostra a evolução dos padrões de telefonia celular no tempo. Pode-se verificar que a cada década um novo padrão emerge. Esses padrões, no entanto, não aparecem de um dia para o outro, eles são introduzidos no decorrer dos anos, incorporando paulatinamente evoluções naturais, sejam em *hardware* ou em *software*, melhorando os atuais serviços oferecidos ou propiciando novos serviços ou funcionalidades.

FIGURA 1
Evolução dos padrões de telefonia celular



Fonte: Capgemini e Qualcomm.
Elaboração do autor.
Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

O 5G é, primeiramente, a evolução natural das redes *long term evolution* (LTE), mais comumente conhecidas como 4G. A cada novo padrão, a eficiência espectral aumenta, sendo possível transmitir cada vez mais dados, possibilitando a introdução de novos serviços. A tecnologia móvel invade outros domínios, oferecendo, em certas circunstâncias, competição à telefonia e à banda larga fixa, ou mudando a forma como os negócios existentes operam. A introdução de novos padrões vem sempre acompanhada de enormes expectativas. Dizia-se, na época do lançamento do 3G, que teríamos, enfim, a internet móvel. Muitas operadoras na ocasião assim venderam seus serviços, também no Brasil. Planos de dados móveis eram vendidos como os planos de banda larga fixa, ou seja, pelas velocidades. Na época, a expectativa foi tão grande que tivemos a primeira bolha da telefonia móvel, elevando em muito o custo de aquisição das frequências. Os equipamentos, celulares e serviços não conseguiram de fato suprir as expectativas e, praticamente, somente no fim daquela década, o padrão foi abraçado pelos usuários.

Na prática, a banda larga móvel ou internet móvel somente aconteceu com a introdução do 4G, quando as velocidades melhoraram o suficiente para que o usuário pudesse, então, usufruir dela. Em 2007 e 2008, foram lançados, respectivamente, o primeiro Iphone e o primeiro *smartphone* Android, aparelhos que modificaram o significado de mobilidade.

Uma nova década se passou. O novo padrão, 5G, tomará o mesmo caminho das tecnologias que o antecederam. As evoluções e as melhorias serão incorporadas de acordo, também, com a aceitação de mercado e a priorização das operadoras e dos clientes.

O 5G é, no final das contas, uma mescla entre evolução e revolução:

- evolução, pois segue como desenvolvimento natural do 4G e porque chegará ao mercado em etapas, como já aconteceu anteriormente; e
- revolução, pois aumenta a capacidade de dados, traz novas características, que podem modificar o ecossistema e trazer uma infinidade de novas possibilidades e serviços para todos. Certamente, o mundo não será o mesmo ao final da próxima década, quando falaremos sobre o próximo padrão.

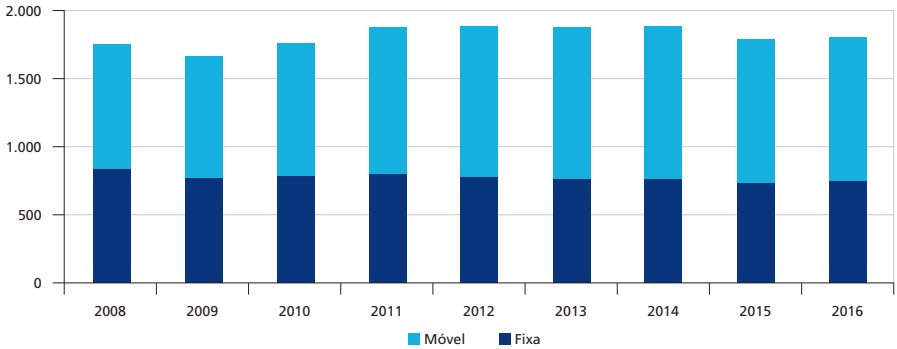
Fornecedores vendem o 5G como uma nova oportunidade de receitas para as operadoras ou até para outras indústrias. Na era digital, as operadoras de telecomunicações ocupam posição essencial, pois são as responsáveis pela criação, manutenção e expansão de tais infraestruturas. Paradoxalmente, com o passar do tempo, essas mesmas empresas vêm sofrendo corrosão de suas receitas e margens. O gráfico 1 mostra a evolução das receitas das operadoras no mundo entre 2008 e 2016, basicamente constantes, apesar ou talvez até em decorrência de todas as

evoluções tecnológicas no período. O gráfico mostra também as diferenças de desempenho das operadoras nos diversos mercados de ações do mundo. De uma perspectiva geográfica, as empresas de telecomunicações na América do Norte e Ásia-Pacífico tiveram o melhor desempenho em termos de preços das ações entre 2012 e 2017. Esse desempenho superior foi ajudado pelo forte crescimento da penetração de *Celular* e pela demanda por serviços de dados móveis na Ásia-Pacífico. A recessão na América Latina e/ou a queda dos preços das *commodities* na África, por sua vez, empurraram para baixo todo o mercado, inclusive o de telecomunicações. Operadoras em todas as regiões ampliaram o portfólio de serviços, tentando capitalizar nos mercados em crescimento com o setor de TV por assinatura, *cloud* ou IoT. O rápido crescimento da adoção de *Celular* e de pacotes conjuntos de serviços fixos, móveis e de TV por assinatura são marcantes nesse período.

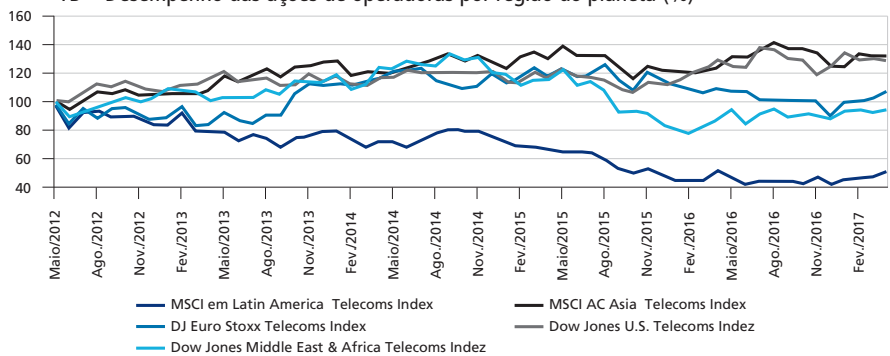
GRÁFICO 1

Alguns dados sobre a evolução de operadoras no mundo

1A – Evolução das receitas das operadoras no mundo (2008-2016) (US$ bilhões)



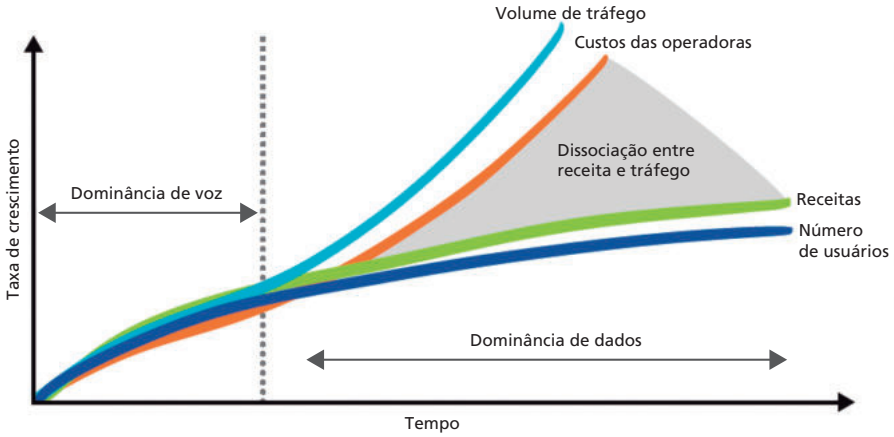
1B – Desempenho das ações de operadoras por região do planeta (%)



Fonte: Ernst and Young Global Limited (EY); Ovum; Capital IQ.

Ainda assim, a demanda de dados por parte dos clientes cresce muito mais rapidamente do que a infraestrutura consegue viabilizar economicamente. Serviços *over-the-top* (OTT), como Netflix, mudaram, há alguns anos, de forma irreversível os modelos de negócios e ofertas para os mercados *business-to-consumer* (B2C) como *business-to-business* (B2B). O uso cada vez maior de vídeos, imagens, dados em geral, tornou realidade o grande medo das operadoras: transformaram-se em transportadoras de *bits* (*bit-pipes*) e perderam uma posição mais nobre, privilegiada e de maior controle na cadeia de suprimentos digitais para outros atores. Antes, tudo dependia exclusivamente das operadoras, hoje não mais. O fato dos serviços OTT existirem em si já seria uma ameaça às operadoras, mas esses mesmos atores não são submetidos às mesmas regulamentações e tarifas a que são submetidas as operadoras. É importante dizer isso, porque, com a introdução do 5G, temos novamente o mesmo dilema, dessa vez ainda mais desafiador, pois o raio de cobertura que uma célula 5G consegue atingir nas frequências destinadas a essa tecnologia é muito menor. Obter coberturas adequadas exigirá investimentos pesados. Não à toa na última década vimos muitas operadoras e fornecedores de equipamentos unirem-se, basicamente por questão de sobrevivência, cortando custos e buscando sinergias para conseguir sobreviver nesse mercado. O serviço de telecomunicações virou *commodity*, mesmo sendo essencial e fundamental para o desenvolvimento de qualquer sociedade ou país.

GRÁFICO 2
Dissociação entre crescimento de tráfego e receitas geradas



Fonte: Accenture.
Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

O negócio telecomunicações definitivamente mudou e isso deve ser levado em consideração pelos reguladores, no intuito de fomentar a inovação e de facilitar a criação de tamanha infraestrutura responsável por sustentar a economia digital. Uma das novas funcionalidades do 5G é aumentar a velocidade de comunicação móvel, conseguindo, em parte, suprir a demanda reprimida.

Em mercados menos desenvolvidos, como na América Latina ou na África, não se vê o mesmo dinamismo de mercados mais maduros, como Japão, Coreia do Sul, China, Estados Unidos ou Europa, no que tange à introdução do 5G. Em um primeiro momento, pode-se ver isso como algo não tão ruim para o mercado como um todo, pelo menos não para os mercados compradores de tecnologia. Estamos falando de um padrão de tecnologia com o qual iremos conviver pelos próximos dez anos. Vale lembrar que a introdução do 3GPP Release 99 (3G básico) no mercado europeu no início dos anos 2000 foi um fiasco. No Brasil, isso somente aconteceu no final de 2007, mas já iniciado de uma forma mais evoluída, 3GPP Release 5, *high speed packet access* (HSDPA), saltando-se etapas, utilizando-se da experiência adquirida em outros mercados, comprando-se tecnologia mais barata, pois já havia adquirido certa escala. Para quem desenvolve a tecnologia ou oferece serviços afins, no entanto, estar atrasado pode ser devastador. O ponto é que tudo acontece com muita velocidade nos dias de hoje, e os mercados ainda precisam ganhar maturidade para incorporar e utilizar as novas tecnologias de forma eficiente, o ecossistema local precisa se desenvolver, as empresas precisam saber como, onde e por que usar as novas tecnologias. Em suma, do ponto de vista regulatório, as peças precisam ser definidas rapidamente, para que o mercado possa pelo menos poder decidir como e quando dar os próximos passos.

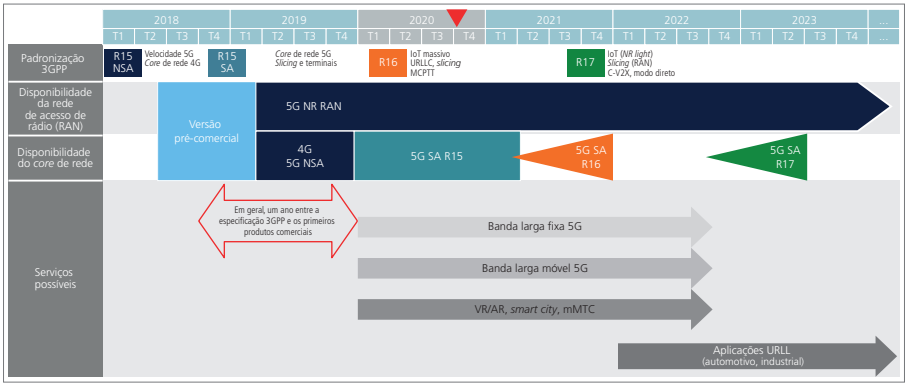
Da mesma forma que os padrões anteriores, o 5G entrará aos poucos, assim que as novas especificações ficarem prontas, e os novos equipamentos forem produzidos, instalados, testados e aprovados pelo mercado. O desafio será encontrar as aplicações que fomentarão a necessidade dos investimentos. No momento, o que se observa são as instalações mundo afora das primeiras redes 5G nos mercados que conseguiram realizar os leilões de frequências e viabilizá-los economicamente.

2.2 *Roadmap* genérico da padronização 3GPP e de equipamentos

A figura 2 resume a situação da padronização 5G, que acontece costumeiramente em fases, ou *releases*. A primeira especificação do 5G comercialmente disponível a partir do primeiro trimestre de 2019 é o Rel-15 NSA 5G NR (*non-standalone 5G new radio*), em que se vê uma nova interface aérea (novo rádio) se conectando às atuais redes 4G como *core* de rede. Essa especificação foi finalizada em dezembro de 2017. A especificação Rel-15 5G SA, por sua vez, é 100% 5G, pois além da interface aérea 5G também se conecta ao *core* de rede 5G. É uma especificação

muito aguardada pela indústria em geral, que objetiva utilizar o padrão em redes privadas, para as quais também é necessário adquirir frequências.

FIGURA 2
***Roadmap* genérico de padrões 3GPP e disponibilidade de serviços associados**



Fonte: Qualcomm e 3GPP.
Elaboração do autor.
Obs.: RAN – *radio access network*; VR/AR – *virtual reality/augmented reality*; mMTC – *massive machine type communication*.

Uma vez estabelecido o que cada especificação do padrão deve conter em termos de funcionalidades, após verdadeiras batalhas estratégicas nos vários grupos de trabalho do 3GPP com especialistas das operadoras, dos fornecedores e da academia, os fornecedores correm contra o tempo para lançarem os seus respectivos produtos e serviços. Em geral, os primeiros produtos comerciais chegam ao mercado um ano após a finalização da especificação, mas um pouco antes já é possível testar e experimentar com versões pré-comerciais. O fato é que os fornecedores já entram nas reuniões defendendo seus interesses, isto é, dos produtos que já estão sendo desenvolvidos, em paralelo com as especificações.

As especificações ditam quando e quais aplicações conseguem ser realizadas. As funcionalidades mais sofisticadas do 5G, como sua utilização em redes privadas na indústria em aplicações de baixa latência ou a introdução de carros autônomos, estão disponíveis a partir do Rel-16 ou do Rel-17, respectivamente.

2.3 Principais aplicações 5G

A padronização definiu basicamente três grandes grupos de aplicações (Hibberd, 2019), conforme descrito a seguir.

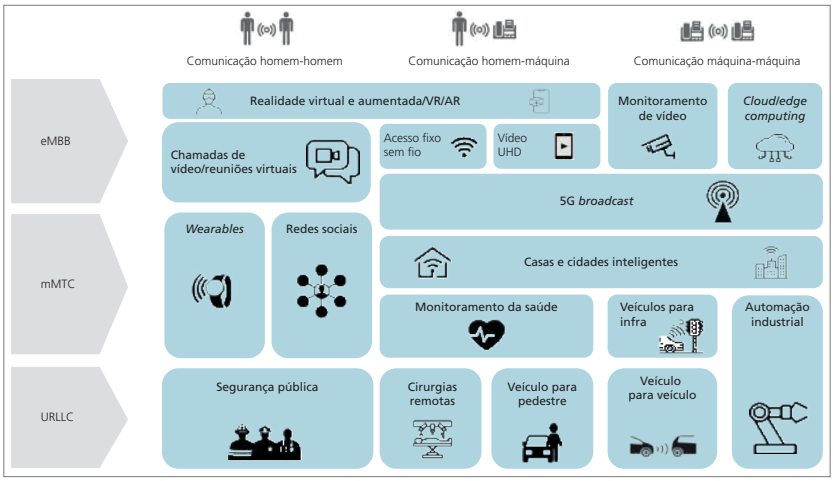
1) Banda larga móvel extra veloz (*enhanced mobile broadband* – eMBB): esse grupo de aplicações ganha com a melhoria do tráfego de dados, propiciado pelo ganho da eficiência espectral. São aplicações que pedem cobertura adequada de sinais e são tipicamente móveis.

2) Comunicação massiva em escala (mMTC): esse grupo de aplicações trata da adoção massiva da IoT em quaisquer verticais de mercado. Exige recepção dentro dos ambientes (*indoor*), grande cobertura de sinais e alta densidade de aparelhos.

3) Comunicação ultraconfiável de baixa latência (*ultra-reliable low-latency communications* – URLLC): as aplicações típicas aqui são de missão crítica, que requerem latências muito baixas e alta confiabilidade e segurança na comunicação.

A figura 3 exemplifica algumas aplicações vislumbradas para cada um dos três grupos mencionados, lembrando que muitas aplicações ainda não foram nem imaginadas. Diante do que foi exposto na seção que trata das padronizações, fica mais fácil compreender quando e como as aplicações 5G poderão entrar nos respectivos mercados. Nesse primeiro momento, a aplicação mais comum e mais natural é o acesso banda larga nos *smartphones* 5G, ou seja, basicamente o mesmo que temos neste momento, porém bem mais rápido. O acesso banda larga fixa também já é oferecido pelas operadoras a partir de pequenos *customer premisses equipments* (CPEs), que captam os sinais 5G e os espalham nas residências e nos escritórios por meio de Wi-Fi.

FIGURA 3
Grupos de aplicações 5G e potenciais serviços associados



Fonte: Hibberd (2019); Qualcomm; Ericsson; e 5G Americas.
Elaboração do autor.
Obs.: UHD – *ultra high-definition*.

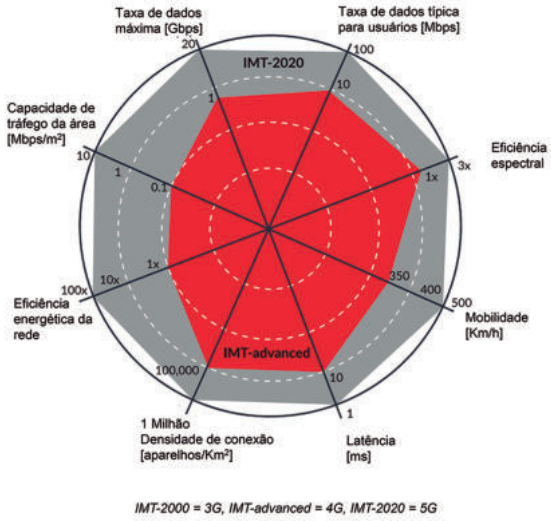
À medida que os novos padrões adentram no mercado, novas funcionalidades podem ser incorporadas e novos serviços podem aparecer, para as mais diferentes indústrias.

2.4 Quais são as principais características do 5G

O 5G traz alguns avanços tecnológicos muito interessantes quando o comparamos com o 4G, o que gera grandes expectativas. Entre elas, destacam-se:

- baixa latência do 5G: redes confiáveis de baixa latência garantem tempos de resposta rápidos para aplicações de tempo crítico, como veículos autônomos ou robôs, que dependem disso;
- maior velocidade na banda larga móvel 5G: aplicações especiais que requerem grande quantidade de dados em movimento são habilitadas, como aplicativos de realidade virtual ou realidade aumentada (VR/AR);
- *network slicing*: será possível falar de *network as a service*, em que sub-redes virtuais podem ser adaptadas para suportar aplicações únicas com diferentes necessidades de rede, ou seja, cada serviço pode ter uma rede adaptada às suas reais necessidades específicas;
- redes em malha 5G: espera-se uma densidade maior de conexões, em que os dispositivos sejam capazes de se conectar uns aos outros e melhorem as redes existentes, criando novas aplicações; e
- localização 5G: haverá suporte para localização em rede no espaço tridimensional, com precisão de 1 metro a 10 metros em 80% das ocasiões, e melhor que 1 metro para *indoor*.

FIGURA 4
Melhorias nas principais funcionalidades do 4G (IMT-Advanced) para o 5G (IMT-2020)



Fonte: Hibberd (2019).
Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Entre as principais características apresentadas, talvez *network slicing* ou conceito de rede central "nativa na nuvem", seja a mais importante. A capacidade de implantar redes virtuais de ponta-a-ponta (*slices*) sobre uma infraestrutura promete desbloquear um novo mundo de serviços empresariais e potencialmente novas receitas para as operadoras móveis. Para que isso aconteça, as operadoras não devem apenas implantar 5G, mas também reformular seus sistemas de suporte operacional e de negócios no *backend* (*operations support systems/business support systems* – OSS/BSS). Um *slice* é uma rede personalizada, em que os clientes podem solicitar parâmetros específicos, de acordo com o serviço prestado, incluindo taxa de dados, qualidade de serviço (*quality of service* – QoS), latência, confiabilidade e segurança, que podem ser configurados e gerenciados dinamicamente. A princípio, essa funcionalidade está disponível no Rel-15 SA, mas de forma mais madura somente no Rel-16.

FIGURA 5
Exemplo de sub-redes alocadas dinamicamente para um serviço de carro autônomo

Fonte: Hibberd (2019). Disponível em: freepik.com.
Obs.: Baseado em desenho da Vodafone.

2.5 Faixas de frequências licitadas e valores em alguns mercados mundiais

Desde meados de 2018, vem acontecendo leilões de frequência para a operação do 5G nos mais diversos países. Basicamente, fala-se em três faixas de frequências para o 5G, que podem variar de país para país, de acordo com a disponibilidade local. Busca-se a harmonização das frequências em todo o mundo, para que os equipamentos e celulares possam trabalhar em frequências similares e consequentemente baratear os custos com economias de escala. Cada faixa de frequências tem as suas características físicas, que, por sua vez, limitam as possíveis aplicações nas respectivas faixas (Huawei, 2020), conforme destacado a seguir.

1) Faixa abaixo de 1 gigahertz (GHz):

- espectro que oferece ampla cobertura de área e penetração interna/*indoor*. Assim, adequada para todos os tipos de aplicações, banda larga móvel (eMBB) urbana e no campo, comunicação em massa (mMTC) e aplicações altamente confiáveis de baixa latência (URLLC);
- bandas principais 700 megahertz (MHz) na Europa e 600 MHz nos Estados Unidos;
- implantação de rede mais barata, maior cobertura de células, melhor propagação de sinais; e
- a disponibilidade do espectro é bastante limitada.

2) Faixa de 1 GHz a 6 GHz:

- propicia boa cobertura e é adequada para implantações urbanas densas, porém pior que a faixa abaixo de 1 GHz;
- foco em 3,3-3,8 GHz, 3,8-4,2 GHz e 4,5-5 GHz; e
- taxas de pico de 1 gigabits per second (Gbps), para suporte a casos de uso de eMBB.

3) Faixa acima de 6 GHz (cerca de 24 GHz):

- primeira vez que se utiliza este espectro (24-100 GHz) para redes móveis;
- taxas de pico mais altas que 10 Gbps, portanto boas para eMBB ou acesso sem fio fixo. As taxas são mais altas, pois nessa faixa do espectro a banda licitada contígua é maior e há frequências disponíveis; e
- as redes nessas frequências acabam sendo utilizadas para redes locais, pois a propagação dos sinais é ruim e exige um grande número de células (investimento) para a cobertura de uma grande área, além de serem ruins na penetração de ambientes internos. Passam a ser o alvo de redes 5G privadas e locais e nada adequadas para aplicações que exigem grande área de cobertura.

Esse ecossistema sugere que poderemos ver novas operadoras aparecendo, dedicadas a serviços de banda larga fixa (*fixed wireless access* – FWA), por exemplo.

A tabela 1 lista uma série de países, as respectivas faixas de frequência, o espectro licitado, bem como sua relação (preço/MHz/população), que indica a relação do preço pago e do espectro licitado com o tamanho da população do país. Dessa forma, é possível comparar, em parte, o que os diferentes países pagaram pelo espectro.

É possível observar que o preço indicado para a faixa de 700 MHz na Itália se deslocou dos demais países na tabela, exatamente por ser uma frequência nobre no que tange à comunicação móvel. Da mesma forma, pode-se observar o outro extremo, na faixa de frequências de 26 GHz a 28 GHz. A quantidade de espectro disponível nessa faixa é enorme, o que propicia velocidades altíssimas. Contudo, como as frequências não são adequadas à larga propagação, o que exige maior investimento em infraestrutura de rede, o preço do espectro é menor.

TABELA 1
Comparação entre licitações de frequências 5G em alguns dos principais mercados globais

	País	Data	Faixa de espectro	Espectro licitado (MHz)	**Total gasto (US$ bilhões)**	População (milhões)	Preço[1]/MHz/ população[2]
	Inglaterra	Abril/2018	3,6-3,8 GHz	150	**1,480**	66,95	0,147
	Coreia do Sul	Junho/2018	3,5 GHz 28 GHz	280 2.400	**2,700** **0,600**	51,34	0,188 0,005
	Espanha	Julho/2018	3,6 - 3,8 GHz	200	**0,512**	46,44	0,055
	Finlândia	Outubro/2018	3,4 - 3,8 GHz	390	**0,088**	5,56	0,041
	Itália	Outubro/2018	700 MHz 3,7 GHz 26 GHz	60 200 1.000	**2,300** **4,990** **0,187**	59,22	0,647 0,421 0,003
	Austrália	Dezembro/2018	3,6 GHz	125	**0,611**	25,09	0,195
	Suíça	Janeiro/2018	700 MHz 1.400 MHz 3,5 GHz	80 75 300	**0,380**	8,42	0,099
	Alemanha	Junho/2018	2 GHz 3,6 GHz	120 300	**2,680** **4,716**	82,80	0,270 0,190

Fonte: Hibberd (2019).
Notas: [1] Em US$ bilhões.
[2] Em milhões.

2.6 Atividades em redes privadas 5G em alguns mercados mundiais

Até o momento, na Europa, a Alemanha claramente tomou a iniciativa no que tange à definição de regras para a aquisição de frequências 5G para o uso em redes privadas. A preocupação com o posicionamento competitivo das indústrias, no contexto da Indústria 4.0, foi fator preponderante para a celeridade do processo. A Agência Reguladora Federal Alemã (Bundesnetzagentur), que é responsável pela concessão das frequências no país, reservou as faixas de 3.700 MHz-3.800 MHz para potenciais operadoras de redes regionais, empresas ou *startups*, enquanto ainda analisa o que fará com a faixa de 26 GHz. O procedimento é relativamente

simples e o processo demora cerca de dois meses para a aquisição das frequências. Até agosto de 2020, 33 empresas (incluindo universidades) haviam comprado licenças privadas para frequências 5G, entre as quais encontram-se empresas como Bosch, BMW, BASF, Lufthansa, Siemens e Volkswagen. A tabela a seguir resume algumas das principais iniciativas na Europa e traz também algumas informações sobre o Japão e a Austrália.

QUADRO 1
Algumas informações em alguns países acerca do uso de 5G em redes privadas

	País	Faixa de espectro	Comentário
	Alemanha	3,7 GHz-3,8 GHz	Empresas como Bosch, Mercedes, BMW, Lufthansa, BASF, Siemens e Volkswagen já compraram frequências. O máximo espectro reservado pela agência reguladora BNetzA nesta faixa é de 100 MHz. A faixa de 26 GHz ainda está sendo avaliada.
	França	2,6 GHz	O operador de aeroportos, grupo ADP, recebeu 40 MHz para dez anos de uso nos aeroportos de Paris. Électricité de France (EDF), concessionária de energia elétrica, recebeu 20 MHz para dez anos no espectro 2,6 GHz TDD, na planta nuclear de Blayais. A empresa de mobilidade TransDev recebeu 20 MHz no espectro de 2,6 GHz em Rouen. Airbus e a companhia de trens Société Nationale des Chemins de fer Français (SNCF) já se posicionaram a favor de redes privadas, mas ainda não possuem frequências.
	Holanda	3,4 GHz-3,45 GHz; 3,75 GHz-3,8 GHz	Frequências reservadas para o uso local, no entanto, isto é, aquelas na faixa de 3,5 GHz, somente serão liberadas em 2022.
	Suécia	3,72 GHz-3,8 GHz	80 MHz serão reservados. O processo foi inicialmente planejado para setembro de 2020.
	Inglaterra	3,8 GHz-4,2 GHz	40 MHz serão dedicados para redes locais. A faixa inferior dos 26 GHz também será reservada para acesso privado.
	Japão	3,7 GHz 26 GHz 28 GHz	No Japão, as empresas já podem entrar com pedido para frequências desde dezembro de 2019. Fujitsu anunciou, em fevereiro de 2020, que recebeu a primeira frequência para redes privadas 5G na faixa de 28,2 GHz-28.3 GHz. A Nokia está construindo um ecossistema de parcerias para possibilitar redes LTE e 5G para clientes industriais e para o governo no Japão.
	Austrália	3,7 GHz 26 GHz 28 GHz	O regulador australiano disse que haverá oportunidades de novos entrantes no mercado 5G, incluindo em verticais específicas, como na mineração, em que já se usa redes privadas.

Fonte: 5G Observatory, 2020. Disponível em: https://5gobservatory.eu.

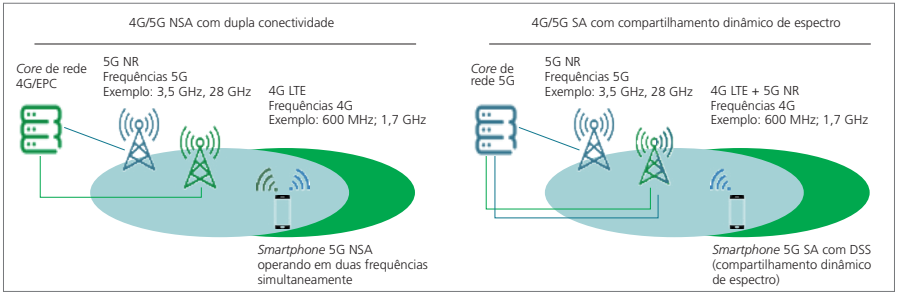
2.7 Transição do 4G para o 5G

Graças a inovações no padrão 5G, que permitem uma evolução em fases e interoperabilidade estreita com as atuais redes 4G LTE, o 5G deve realizar a transição mais suave de todos os tempos. O processo se dá da seguinte forma.

- Primeira fase: 5G NSA e dupla conectividade 4G/5G simultânea.

O Release 15 permite que sejam utilizadas novas estações rádio-base 5G, com tecnologia mais avançada, conectadas ao *core* de rede 4G já instalada. Nessa forma de operação, temos aparelhos com as conexões 4G e 5G simultâneas, enviando e recebendo dados ao mesmo tempo, cada qual nas suas respectivas frequências, agregando o conteúdo no aparelho. Assim, os usuários conseguem velocidades maiores do que usando somente um dos rádios separadamente. Naturalmente novos aparelhos celulares são necessários. Nessa modalidade, as operadoras vão montando suas operações aos poucos, criando ilhas de cobertura 5G.

FIGURA 6
Migração do 4G para o 5G



Fonte: Hibberd (2019).

- Segunda fase: 4G/5G SA com compartilhamento dinâmico de espectro.

Nesse modo de operação, o 5G utiliza o espectro atualmente usado pelo 4G LTE, por meio da funcionalidade *dynamic spectrum sharing* (DSS) ou do compartilhamento dinâmico de espectro, acelerando a transição para o 5G. No DSS há uma coexistência de ambos os padrões na mesma frequência, ao mesmo tempo, fazendo com que as estações rádio-base e a rede consigam compartilhar dinamicamente os recursos entre os usuários 4G e 5G em cada célula. Tanto o 4G LTE quanto o 5G usam modulação *orthogonal frequency division multiplexing* (OFDM), o que propicia essa metodologia. O 5G DSS transforma uma banda de frequências hoje usada para o 4G em uma de 5G, e apesar de sobrecarregar a operação e as capacidades transmitidas, o benefício de transição e de cobertura são compensados. É utilizada em mercados em que ainda não há definição com relação às frequências 5G ou como forma de aumentar a cobertura 5G mais rapidamente, até que as novas células 5G estejam instaladas e operando.

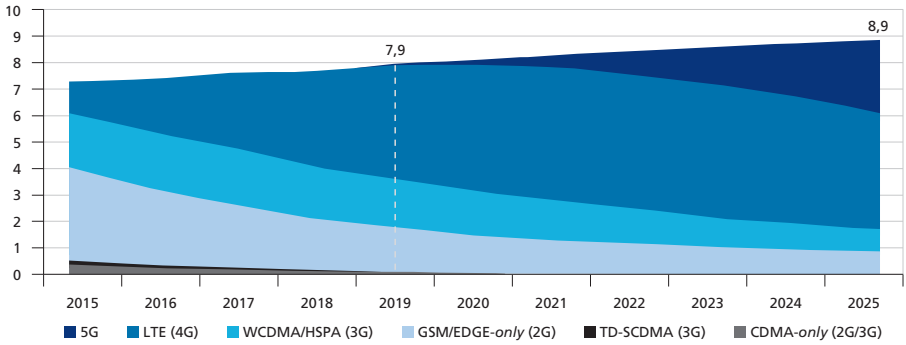
2.8 Situação do 5G no mundo

De acordo com os recentes relatórios trazidos pela Ericsson, estima-se que serão 2,8 bilhões de usuários 5G até o final de 2025, representando cerca de 30% do número total de usuários móveis do mundo. Espera-se que os usuários migrarão

mais rapidamente para 5G quando comparado ao 4G LTE, também pelas metodologias anteriormente explicadas.

As expectativas de mercado foram reduzidas com os efeitos da covid-19, mas somente no curto prazo. A primeira metade de 2020 impactou todos os ramos da sociedade de forma global, assim como o mercado das telecomunicações. Ainda assim, as operadoras continuam lançando seus serviços 5G e a previsão era de chegar a cerca de 190 milhões de usuários 5G até o final de 2020. Isso se deve, principalmente, ao rápido avanço da tecnologia na China, onde os efeitos da pandemia foram menores em termos econômicos. Em contrapartida, vários leilões de espectro na Europa foram adiados, reduzindo as estimativas para 2020 e 2021 na Europa e na América do Norte.

GRÁFICO 3
Número de usuários móveis por tecnologia
(Em bilhões)



Fonte: Ericsson Mobility Report, 2020.

Ainda assim, de acordo com a Associação Global dos Fornecedores para a Indústria Móvel (Global Semiconductor Alliance – GSA), até agosto de 2020 foram contabilizadas 96 operadoras em 41 países/territórios oferecendo serviços 5G comercialmente.

A figura 7 mostra que em grande parte dos países europeus há alguma operação 5G em andamento, utilizando equipamentos NSA comerciais no espectro de 3,5 GHz. Essas operações se iniciaram entre meados de 2019 até meados de 2020 em grande parte dos casos. Já no gráfico 3, é possível verificar as operações 5G comerciais e pré-comerciais no mundo.

FIGURA 7
Localidades com operações 5G comerciais ou pré-comerciais no mundo (até set./2020)

Fonte: Ookla. Disponível em: www.ookla.com/ookla-5g-map.
Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Em alguns desses, experimenta-se também na faixa de 26 GHz, com equipamentos pré-comerciais ou mesmo comerciais. Onde é possível, busca-se faixas de frequências mais atraentes, em que o problema de cobertura pode ser melhor equacionado. Por essa mesma razão, é possível encontrar operações comerciais em DSS com 4G LTE, com equipamentos NSA comerciais. Dessa forma, obtém-se rapidamente a cobertura desejada, podendo-se crescer de acordo com a demanda de mercado. É também uma estratégia utilizada nos mercados que ainda não licitaram as frequências em 5G, como no Brasil. Isso pode ser observado na figura 8, com algumas das operações 5G nas Américas e na Ásia.

Observa-se também que nos Estados Unidos busca-se usar frequências mais baixas para se conseguir melhores coberturas, algo muito desejável em países de dimensões continentais.

Como apontado anteriormente, a Ásia lidera a adoção da tecnologia no mundo, tendo a Coreia do Sul como a grande pioneira, instalando suas redes comerciais NSA 5G no espectro de 3,5 GHz já no início de 2019, bem como 800 MHz de largura de banda na faixa de 28 GHz (figura 9). Por sua vez, a China contra-ataca, tendo conseguido cobrir Pequim com o novo padrão 5G, de acordo com o Ministério das Telecomunicações da China. Até o final de julho de 2020, operadoras chinesas já tinham instalado a impressionante marca de 44 mil estações rádio-base 5G na cidade, chegando a cerca de 5 milhões de usuários. Pequim é

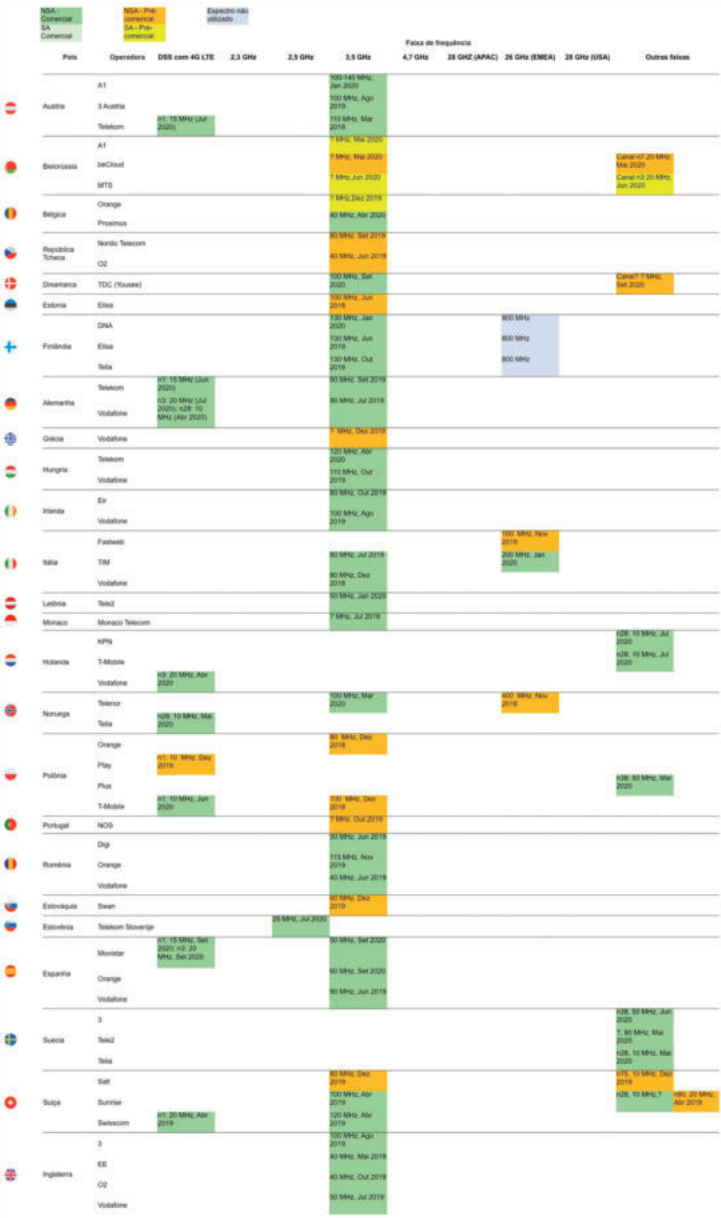
a segunda cidade coberta na China. A primeira tinha sido Shenzen, onde foram instaladas 46.500 estações rádio-base 5G. Shenzen tem mais de 12 milhões de habitantes e é sede das gigantes Huawei Technologies, ZTE e Tencent Holdings, esta última a quinta maior empresa de internet do mundo após Amazon, Google, Alibaba e Ebay. Claramente o foco da China é se tornar exemplo para o mundo no uso do 5G, como forma de influenciar mercados para o uso de tecnologia fabricada por seus fabricantes, que enfrentam no mundo ocidental pressão política e boicote.

Na maioria dos mercados até o momento, o 5G está disponível para os planos mais sofisticados, em alguns somente para planos de dados ilimitados. Os aparelhos celulares custam sem planos de dados cerca de € 500,00 na Europa, mas estima-se que em dois anos os mercados serão inundados por *smartphones* 5G. O 5G tem sido precificado como um serviço *premium* sobre o 4G LTE. Na Coreia do Sul, a SK Telecom, por exemplo, assegurou direitos exclusivos para transmissões de eventos *e-sports* aos novos clientes 5G, que essencialmente são competições usando *videogames*.

Além das redes comerciais, muito tem se experimentado com o tema 5G nas mais diversas verticais de mercado, em que se prevê ganho de produtividade e eficiência num futuro próximo. Uma dessas verticais é o setor de transporte aéreo, em que se pensa na utilização de redes públicas e/ou privadas. Vários projetos pilotos foram ou estão em andamento, como por exemplo nos aeroportos de Manchester, Heathrow e Gatwick, na Inglaterra, no aeroporto de Wellington, na Nova Zelândia ou o novo Daxing International, em Pequim. O 5G já está aprimorando aplicativos existentes para comunicações de aeronaves, operações aeroportuárias, gerenciamento de bagagem e o processamento de passageiros. As novas funcionalidades do 5G, que darão outro significado para a IoT, como administrar, por exemplo, até um milhão de conexões por quilômetro quadrado, em conjunto com outras tecnologias como inteligência artificial, *big data* e *analytics*, *edge* e *cloud computing*, possibilitarão muitas novas aplicações (GSMA, 2019b).

Além disso, o tema vem sendo avidamente testado quando se fala em indústrias inteligentes. A Mercedes-Benz, na Alemanha, em conjunto com a Telefonica e a Ericsson criaram o projeto Factory 56 Daimler, com o intuito de consturir uma fábrica completamente automatizada (Rodriguez, 2019). O tema vem sendo seguido de perto pelas empresas automobilísticas. Na Coreia do Sul, as empresas SK Telecom, Ericsson e BMW testaram em carros conectados viajando a 170 km/h taxas de dados de até 3,6 Gbps. O tema também é estudado em conjunto com sistemas de segurança, que alertam sobre a presença de pedestres, ciclistas e objetos na pista, além de entretenimento ou guias turísticos virtuais.

FIGURA 8
Operações 5G na Europa (até set./2020)[1]



Fonte: Wikipedia. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_5G_NR_networks#cite_note-SM_Frequencies_ITU_3-3.
Nota: [1] n3: 1,8 GHz FDD; n7: 2,6 GHz FDD; n28: 700 MHz, FDD; n38: 2,6 GHz, TDD; n75: 1,5 GHz, SDL = FDD Supplemental Downlink; n80: 1,8 GHz, SUL = FDD Supplemental Uplink.
Obs.: 1. Lista não exaustiva.
2. Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

FIGURA 9
Algumas operações 5G nas Américas e na Ásia (até set./2020)[1]

Fonte: Wikipedia. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_5G_NR_networks#cite_note-SM_Frequencies_ITU_3-3.
Nota: [1] n5: 850 MHz FDD; n71: 600 MHz FDD; n77: 3,7 GHz TDD; n260: 39 GHz.
Obs.: 1. Lista não exaustiva.
2. Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Com o problema recente da pandemia da covid-19, algumas necessidades ficaram mais evidentes, como a infraestrutura necessária para o teletrabalho ou o ensino a distância. O tema da saúde naturalmente tomou outra dimensão e futuras aplicações começam a criar asas.

FIGURA 10
Potenciais aplicações habilitadas com o uso do 5G em serviços médicos

Fonte: Freepik. Disponível em: freepik.com.
Elaboração do autor.
Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

2.9 Compartilhar é preciso

O compartilhamento de rede tem sido intensamente praticado durante as implantações de todas as redes móveis de gerações anteriores, tornando-se quase que obrigatória e recorrente na última década. O mesmo não podia ser diferente com a bola da vez, as redes 5G.

A alta concorrência nos mercados de telecomunicações obrigou o compartilhamento de infraestrutura entre os diferentes tipos de rede, seja em operadoras de telefonia móvel, fixa ou a cabo. Se essa não era uma prática muito comum há vinte anos com a introdução das redes 3G, com o passar do tempo foi ficando cada vez mais habitual, sempre com o objetivo de redução de despesas operacionais e de investimento, chegando a valores na faixa de 20% a 30%, de acordo com Berec (2018).

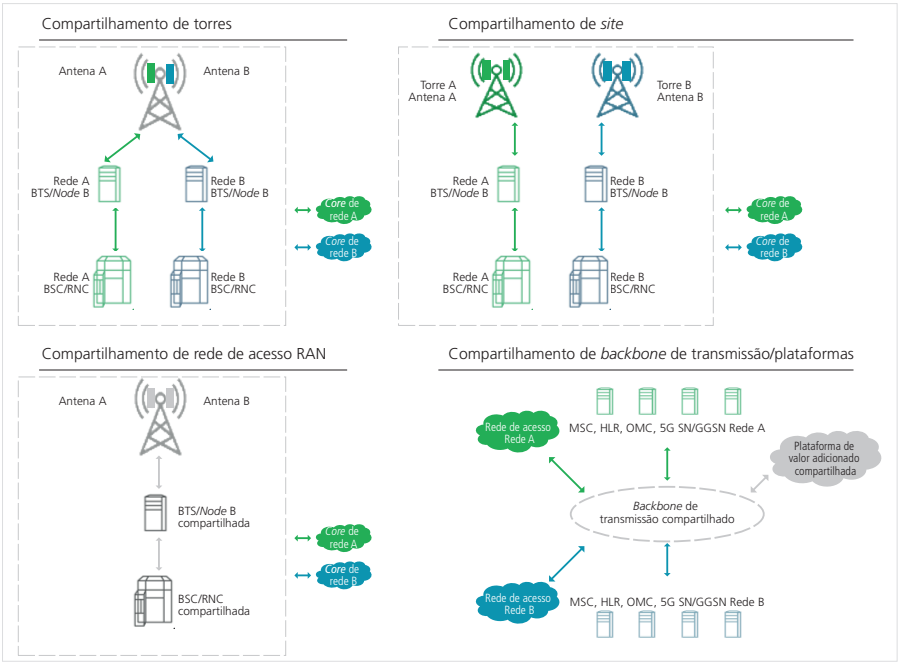
Entre as formas de compartilhamento temos o passivo, ativo e de espectro. O primeiro tipo é mais comum, pois trata-se do compartilhamento de torres de antenas, postes, gabinetes, fonte de energia e infraestrutura física. O compartilhamento ativo de redes considera as redes propriamente ditas, as redes de acesso, transporte, fibras ópticas, equipamentos e em alguns casos até espectro de frequências. Componentes passivos podem ser responsáveis por até 50% de todos os custos das redes, portanto a redução de custos de até 30% poderia reduzir o custo total até 15%.

Além dessas formas de compartilhamento indicadas, o *roaming* também é um método de compartilhamento de infraestrutura, em que um usuário de uma

operadora móvel pode entrar em uma área não coberta por sua operadora e ainda assim ter os serviços providos.

Além da possiblidade de diminuir custos e potencialmente melhorar a cobertura das operadoras, melhorando a qualidade de serviços e até os preços, sem contar com o efeito positivo em termos ambientais, reguladores precisam ficar atentos às questões de concorrência. Embora muitas vezes o compartilhamento de infraestrutura precise ser avaliado caso a caso, de uma forma geral, o compartilhamento passivo de torres e *sites* são encorajados e permitidos por reguladores. O compartilhamento completo de redes de acesso nem sempre.

FIGURA 11
Principais tipos de compartilhamento de infraestrutura



Fonte: Mobile Infrastructure Sharing GSMA.

Com o processo de densificação associado às altas frequências de transmissão do 5G, teremos como resultado maior demanda por *sites* e aumento das capacidades da rede de transporte até os respectivos *sites*. De acordo com GSMA (2019a), uma célula operando a 20 GHz terá somente um terço do raio de cobertura comparado a uma célula operando a 3,5 GHz. Isso significa dizer, *grosso modo*, que 9 células em 20 GHz são necessárias para cobrir a mesma área com 3,5 GHz.

As estimativas conservadoras da GSMA preveem que o número de *sites* deve crescer 50%. Como a infraestrutura de estações rádio-base geralmente representa a maior parte dos investimentos, será prudente considerar formas de compartilhar custos, sejam passivos ou ativos.

Antes do 5G, Berec (2018), que é um órgão de reguladores europeus das telecomunicações, reportou a experiência de alguns países europeus sobre a questão de compartilhamento de infraestruturas. Os casos variam bastante, porém chega-se a números bem impressionantes, conforme mencionado adiante.

- Economias com o compartilhamento passivo de infraestrutura: (16%-35%) *capital expenditure* (Capex), (16%-35%) *operational expenditure* (Opex).
- Economias com compartilhamento ativo de infraestrutura (exceto espectro): (33%-35%) Capex, (25%-33%) Opex.
- Economias com compartilhamento ativo de infraestrutura incluindo espectro: (33%-45%) Capex, (30%-33%) Opex.
- Economias com o compartilhamento do *core* foram reportadas como limitadas, de acordo com o órgão regulador suíço.

A virtualização das redes 5G (*network function virtualisation* – NFV e *software defined networking* – SDN), no conceito de redes virtuais ou *slices*, podem acelerar o processo de compartilhamento nas redes, pois propicia uma operadora a usar um *hardware comoditizado*, enquanto utiliza instâncias lógicas para definir a rede desejada pelo serviço oferecido de ponta-a-ponta. O 5G possibilita mais oportunidades de compartilhamento de redes 5G em comparação com as tecnologias predecessoras, abrindo novas possibilidades para modelos de negócios no atacado, na medida em que os serviços e as funcionalidades podem ser customizadas com o nível de qualidade desejado, para endereçar diferentes mercados com necessidades específicas. Essas funcionalidades serão, no entanto, vistas num segundo momento, uma vez que as redes já estejam montadas e operando. As maiores oportunidades de compartilhamento de infraestrutura serão no início do compartilhamento passivo e *backhaul* de fibras ópticas. Mais adiante, espera-se vários modelos de *mobile virtual network operator* (MVNO) para locação de ativos das redes 5G, que serão provavelmente bem diferentes dos modelos usados no momento.

Algumas iniciativas já se tornaram públicas nos mais diversos mercados mundiais.

- Europa: a empresa sueca Net4Mobility, formada pela Tele2 e Telenor, foi criada para ser a base da infraestrutura para suas redes celulares. As operadoras esperam, assim, continuar com o desenvolvimento conjunto da rede 5G em 2020. Na Inglaterra, Vodafone e Telefonica estão compartilhando infraestrutura passiva e ativa das redes 5G, reduzindo investimentos e causando menores impactos ao meio ambiente. Orange e Proximus, na Bélgica, planejam juntar suas redes para implantar o 5G em todo o país, compartilhando os custos de investimento. Na Espanha, Vodafone e Orange chegaram a um acordo no compartilhamento das redes móveis e fixas, incluindo redes de banda larga em fibra óptica *fiber to the home* (FTTH). A gigante inglesa Vodafone operacionalizou, em maio de 2020, a empresa TowerCo, que agora detém a maior quantidade de torres da Europa, totalizando 61.700 torres em dez países, sendo quase 76% desses *sites* nos quatro principais mercados da Vodafone: Alemanha, Itália, Espanha e Reino Unido. A empresa acredita que dessa forma o processo de compartilhamento de redes pode ser facilitado, acelerando a implantação do 5G por meio de seus principais mercados.
- Ásia: nos países líderes na implantação de redes 5G, isto é, Coreia do Sul, Japão e China, os governos encorajam a construção e o compartilhamento de infraestrutura para redes 5G. As três principais operadoras chinesas são sócias na empresa conjunta de torres de antenas, a China Tower Corp. As operadoras sul-coreanas SK Telekom, KT, LG U+ e SK Broadband possuem um acordo de infraestrutura compartilhada para evitar investimentos redundantes nas implantações de redes 5G. No Japão existe uma parceria entre a KDDI e a Softbank, em que as empresas coparticipam da empresa 5G Japan Co, responsável por montar suas redes 5G, buscando cobertura adequada, também na área rural.

2.10 Compartilhamento de ativos no contexto de redes privadas e públicas

Muito se fala no uso do 5G como infraestrutura fundamental no contexto da Indústria 4.0 e sobre sua competitividade. O tema Indústria 4.0 será mais profundamente tratado nas seções a seguir, mas, neste momento, é importante somente salientar que uma possível estratégia é o compartilhamento de redes de acesso com redes públicas e privadas em cenários industriais, não sendo sempre necessária a criação de redes próprias ou a compra de frequências, como as iniciativas mencionadas na seção *Atividades em redes privadas 5G em alguns mercados mundiais*. Nesse momento, tudo ainda é novidade e grandes conglomerados industriais buscam

vantagem competitiva, iniciando e ganhando experiências com essas novas possibilidades tecnológicas. O foco quase obsessivo do mercado no momento é implementar redes próprias privadas 5G. No contexto do uso do 5G de forma mais vasta, grande parte das indústrias e dos negócios, no entanto, não construirá redes próprias, mas ainda assim poderá usufruir da tecnologia para criar novos negócios e alavancar os atuais. A maior preocupação da indústria, de forma geral, é que informações industriais sigilosas possam vazar para fora do ambiente seguro de seus domínios físicos.

A figura 12 mostra três possíveis formas de interação e compartilhamento entre as redes privadas 5G em ambiente privado e as redes públicas das operadoras. No modelo mais conservador (no alto à esquerda), os dados da empresa não saem dos domínios dela, mesmo com o compartilhamento da rede de acesso das operadoras. No modelo no alto à direita, o banco de dados dos clientes está fora do ambiente privado, mas o tráfego de dados também não sai da empresa. O controle da rede celular é realizado pela rede pública. No cenário embaixo e à esquerda, os clientes da rede privada também são clientes das redes públicas e os dados circulam mais livremente. A decisão por um dos possíveis cenários depende de uma série de fatores, conforme descrito adiante.

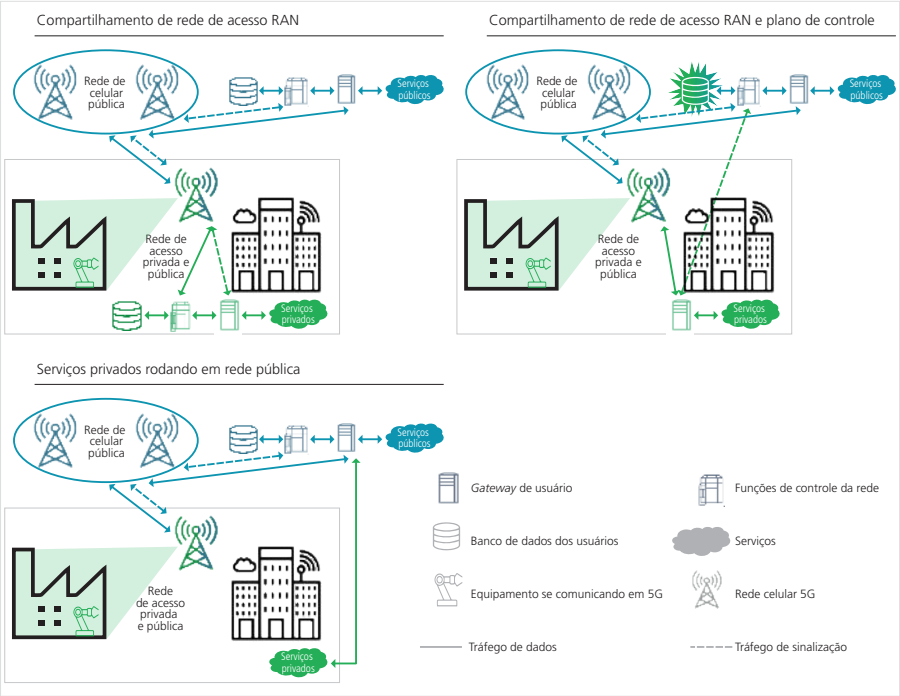
- Necessidade dos dispositivos da rede privada de acessar outras redes: a capacidade de interagir com outros serviços fora da área de cobertura privada pode ser uma necessidade, como por exemplo em um serviço de *streaming* de vídeo.

- Por ocasião do compartilhamento de redes, o tráfego em uma rede pode impactar o tráfego em outra rede, a não ser que ele seja isolado. Esse isolamento pode ser feito de forma lógica, embora ainda assim a mesma rede física é compartilhada ou segredada completamente de forma física.

- Um fator que pode ser vital é o acesso a funções de operação e manutenção da rede e o grau de controle e liberdade para administrar funções da rede privada.

- Privacidade e segurança de dados são importantes para implantação industrial e confidencialidade dos dados. Nesses casos, é condição fundamental saber por onde a informação circula e se isso é respeitado.

FIGURA 12
Possíveis tipos de compartilhamentos entre redes públicas e privadas



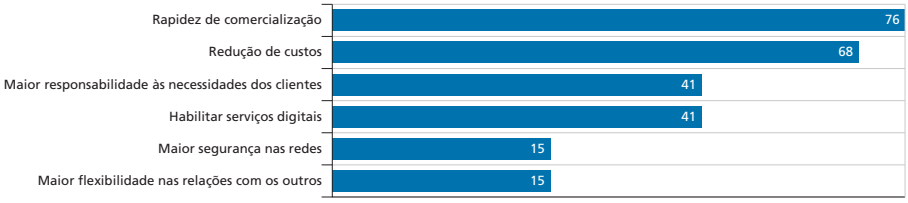
Fonte: 5G Alliance for Connected Industries and Automation, 2019.

2.11 A cadeia de valor na era do 5G

Discorrer sobre o tema fornecedores no mercado de telecomunicações nos tempos atuais é falar primeiramente do que vem acontecendo na última década no ambiente competitivo de negócios, em que se compete basicamente em nível de cadeia de suprimentos, algo indicado por Christopher (2007) há mais de dez anos. Segundo o autor, em economias digitais os sistemas de fornecimento com valor agregado precisam ser mais responsivos aos mercados, em rápida transformação. Esse efeito se intensificou ainda mais na última década com a globalização. As tendências apontadas na ocasião continuam a vigorar, como progresso contínuo da capacidade de processamento dos processadores e o aumento da parcela de *software* em produtos e sistemas, indicada por Picot *et al.* (2000). Os ciclos de inovação e de vida dos produtos continuam se reduzindo. Espera-se que a própria adoção do 5G seja acelerada, quando a comparamos com o que se passou com as tecnologias anteriores.

Se a globalização permite que todos tenham acesso às mesmas peças dos equipamentos e a todos os mercados, a especialização ou a customização a nível de *software* é necessária para a diferenciação da solução final. O futuro que se apresenta traz transformações sem precedentes não somente nas redes de telecomunicações, mas nos mercados nos quais se adentra, com a transformação digital de indústrias, transportes, cidades e possivelmente governos. O 5G trará o que conhecemos hoje como IoT a outro patamar, conectando bilhões de dispositivos. Apesar de também trazer mais largura de banda e velocidade, as características mais interessantes e diferentes são a possibilidade de redes em malha, baixa latência e redes virtuais, que se adequam ao serviço prestado, incluindo taxa de dados e qualidade de serviço. Em decorrência, as redes precisam ser flexíveis e ágeis para suportar uma variedade de serviços e aplicações. Assim, tudo caminha para a virtualização das redes, desde a camada óptica até o nível de aplicação. As novas redes precisam suportar serviços convergentes e, consequentemente, os modelos de negócios diversos precisam estar sempre disponíveis e ainda assim lidar com demandas não previsíveis de forma eficiente e rápida, uma vez que os ciclos de inovação continuam se reduzindo. Em consequência, tudo vira *software*, tudo é virtualizado. Essas características e necessidades podem ser confirmadas em pesquisa conduzida pela EY (2017), a qual entrevistou 76 organizações no mundo todo, sobre o impacto das novas arquiteturas de rede focadas em *software* (NFV) em suas organizações (gráfico 4). A rapidez de comercialização dos novos serviços, a redução de custos e a maior responsividade às necessidades dos clientes somente ratificam as tendências já observadas anteriormente e que, com o 5G, tendem a se acelerar ainda mais.

GRÁFICO 4
Quais são os três principais impactos para a sua organização com as novas arquiteturas de rede baseadas em *software*?
(Em % de respondentes)



Fonte: EY (2017).

Em decorrência disso, os próprios fornecedores de equipamentos e serviços estão se transformando, novas empresas estão entrando no mercado, com novos produtos e serviços. Antigos *players* de mercado consolidaram-se e novos fornecedores disruptivos estão aparecendo. A cadeia de valor se modifica a todo

instante e o que se pode afirmar é que será novamente totalmente reconfigurada na próxima década, antes da chegada da próxima evolução. Mais do que nunca, as telecomunicações convergiram de forma irrefutável com a tecnologia da informação.

FIGURA 13
Cadeia de valor das telecomunicações com alguns atores para exemplificar

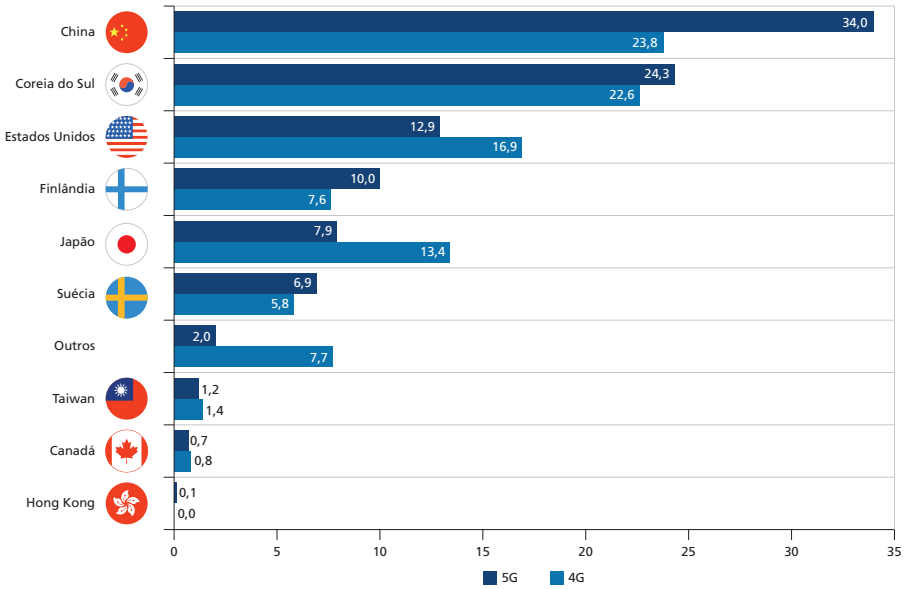
Fonte: Capgemini.
Elaboração do autor.
Obs.: 1. Lista não exaustiva.
2. Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

No contexto da globalização na era digital, o mundo parece ter chegado a um novo capítulo, em que uma nova guerra fria se apresenta entre as duas maiores economias do mundo, Estados Unidos e China. O desfecho desses movimentos atuais e as consequências na cadeia de suprimentos são completamente incertos, principalmente porque os grandes fornecedores de equipamentos de telecomunicações chineses já forneceram para as operadoras, em várias partes do mundo, desde o 3G até o 4G. É praticamente impensável não continuar trabalhando com os fornecedores chineses, pois é prática comum entre operadoras possuírem sempre dois, três ou mais fornecedores em suas redes, eliminando o risco de possível dependência de um deles.

As empresas chinesas são mundialmente responsáveis por 34% das principais patentes relacionadas ao 5G até janeiro de 2020, um crescimento de cerca de 50% quando comparamos com o percentual de patentes para o 4G, de acordo com a IPlytics (2020).

O maior número de patentes 5G vem de empresas na China, sendo a Huawei a empresa que registrou o maior número de patentes internacionais em todos os países. Empresas como a Nokia, Ericsson e Qualcomm, que eram líderes em patentes nas gerações anteriores (2G, 3G e 4G), também contribuem de forma significativa no 5G, da mesma forma que as coreanas Samsung e LG. Há, no entanto, novos participantes na questão de patentes, como as chinesas Oppo, Vivo Mobile, a taiwanesa ASUS e a sul-coreana Wilus.

GRÁFICO 5
País de origem dos detentores de patentes 5G e 4G
(Em %)



Fonte: IPlytics; TU Berlim, 2020.

Tradicionalmente, detentores de patentes 2G, 3G e 4G controlaram o uso de tecnologias da comunicação em *smartphones* e equipamentos correlatos. Portanto, os donos de patentes 5G provavelmente se tornarão líderes de mercado. O governo chinês tem promovido o 5G como parte do programa Made in China 2025, um ambicioso plano para liderar o mundo nas tecnologias de nova geração. Entre seus objetivos está o desenvolvimento de fábricas automatizadas que incorporem a IoT, em que o 5G é peça fundamental. A China tem tomado a iniciativa, assim como a Coreia do Sul e o Japão na introdução da tecnologia no mundo, como apresentado em seção anterior.

Um dos maiores desafios na implantação do padrão 5G será o licenciamento das patentes essenciais (*standard essential patents* – SEP). Foram criados grupos ou plataformas de patentes, como a Avanci, para facilitar o processo, porém Huawei, ZTE, Samsung, LG, CATT, Oppo e Vivo Mobile ainda não se juntaram a tais iniciativas. O gráfico 6 mostra as principais empresas em geração de receitas advindas de patentes para telefones celulares nos últimos dez anos. Somente a Qualcomm gerou cerca de US$ 7,7 bilhões em receitas em 2016.

BOX 1
O que é a Open Radio Access Network Alliance?

Open Radio Access Network Alliance é uma aliança internacional da indústria de redes de acesso, que visa a uma arquitetura flexível, aberta, inteligente, virtualizada na nuvem e, além disso, totalmente interoperável.

A aliança foi inicialmente fundada pelas operadoras AT&T, China Mobile, Deutsche Telekom, NTT Docomo e Orange, mas conta atualmente com mais de 160 membros, entre operadoras, fornecedores de equipamentos e especialistas da academia.

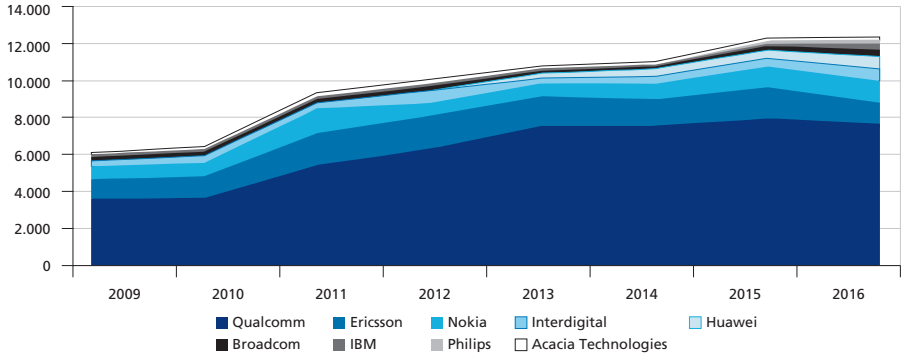
O fórum busca a desagregação de redes de acesso (RAN) 4G e 5G, envolvendo decomposição funcional, operação de vários fornecedores em interfaces abertas e desacoplamento de *software* e *hardware*. A aliança trabalha na evolução da RAN introduzida pela primeira vez pelo Release 15 5G, expandindo o escopo originalmente delineado pelo 3GPP, emitindo especificações e lançando *software* de código aberto.

A principal motivação para desagregar as redes de acesso é reduzir o custo total dos equipamentos das redes. A iniciativa é vista como importante medida para a densificação de forma econômica das redes de acesso. Ademais, trata-se de uma tendência de introduzir mais *software* facilmente configurável nas redes e agilizar a entrega de serviços ponta-a-ponta, tendência irreversível, principalmente para possibilitar a entrega das aplicações vislumbradas. As operadoras certamente introduzirão algum modelo de desagregação de forma progressiva. A competição no ramo deve crescer, com pequenos fornecedores ocupando o espaço de grandes fornecedores e que até o momento tinham maior controle dessa parte da cadeia produtiva.

No atual momento, vê-se operadoras testando possíveis formas de operação, verificando em projetos de pesquisa e desenvolvimento as vantagens e os desafios envolvidos no processo de desagregação, que certamente ainda durará alguns anos.

Fonte: O-RAN Alliance. Disponível em: www.o-ran.org.

GRÁFICO 6
***Top* 10 das empresas com maiores receitas de licenciamento de patentes para telefones celulares incluindo e não limitado a 3G e 4G**
(Em US$ milhões)



Fonte: IPlytics (2020).

No momento, na Europa e na América Latina, especula-se sobre o rumo a ser tomado quanto ao uso de equipamentos de fornecedores chineses, o que pode reduzir a velocidade de adoção da tecnologia não evitando o pagamento de *royalties* referentes às patentes essenciais do 5G. Enquanto isso, a guerra fria entre os Estados Unidos e a China continua. A gigante Huawei reportou recentemente que buscará outras soluções para o fornecimento de *chipsets*, pois encontra dificuldade na compra deles com a americana Qualcomm.

REFERÊNCIAS

BEREC – BODY OF EUROPEAN REGULATORS FOR ELECTRONIC. **Berec Report on Infrastructure Sharing**. [s.l.]: Berec, 2018.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

CISCO. **2020 global networking trends report**. [s.l.]: [s.n], 2020.

EY – ERNST & YOUNG GLOBAL LIMITED. **Digital transformation for 2020 and beyond**: a global telecommunications study, [s.l.]: EY, 2017.

GSA – GLOBAL SEMICONDUCTOR ALLIANCE. **Evolution from LTE to 5G**. [s.l.]: [s.n], 2020.

GSMA – GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS. **Future networks, an overview of infrastructure**. [s.l.]: GSMA, 2019a. Disponível em: https://cutt.ly/7fCCxia.

_____. **The 5G guide**: a reference for operators. [s.l.]: GSMA, 2019b.

HIBBERD, M. 5G: evolution and revolution. **TM Forum**, Apr. 24, 2019.

HUAWEI. **5G spectrum**: public policy position. [s.l.]: [s.n], 2020.

IPLYTICS. **Fact finding study on patents declared to the 5G**. Berlim: IPlytics, 2020.

PICOT, A. *et al*. **E-conomics**: strategies for the digital marketplace. Berlim: Springer, 2000.

RODRIGUEZ, R. **5G telefonica trials and 5G first experiences**. [s.l.]: GSMA CITEL, 2019.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

ALTRAN, S. A. **5G network operations**: AI/ML based recursive autonomic OSS. [s.l.]: [s.n], 2020.

GERARD, P. **Infrastructure sharing**: an european regulatory perspective. [s.l.]: [s.n], 2019.

GSMA – GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS. **Mobile infrastructure sharing**. [s.l.]: GSMA, [s.d.].

INSIDE TOWERS. **Vodafone creates Europe's largest tower company**. [s.l.]: Inside Towers, 2020. Disponível em: https://cutt.ly/gfLCxAz.

KINNEY, S. **Dynamic spectrum sharing**: driving 5G to scale. [s.l.]: RCR Wireless, Apr. 2020.

_____. **Getting to standalone 5G**: real-time applications and new service revenue. [s.l.]: RCR Wireless, ago. 2020.

MCKINSEY AND COMPANY. **Network sharing and 5G**: a turning point for lone riders. [s.l.]: [s.n], 2018.

NEWMAN, M. *et al*. Digital transformation tracker4: the culture wars of transformation. **TM Forum**, Feb. 2020.

NOKIA. **Go beyond cloud-native with Nokia's multi-generational converged Core**. [s.l.]: Espoo, 2020.

QUALCOMM. **What's in the future of 5G?** [s.l.]: [s.n], Oct. 2019.

CAPÍTULO 6

INTERNET DAS COISAS (IOT), TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E INDÚSTRIA 4.0[1]

Robert Spadinger[2]

1 SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS DOS SERVIÇOS E TECNOLOGIAS ASSOCIADAS AO 5G NA EUROPA: INTERNET DAS COISAS (IOT), INDÚSTRIA 4.0

1.1 *Machine to machine* (M2M) até internet das coisas (*internet of things* – IoT)

A história de sistemas M2M começou ainda no século XIX, com mecanismos introduzidos com propósitos militares por meio de cabos e posteriormente com o uso do rádio. A tecnologia evoluiu constantemente até tornar-se mais recentemente um jargão bastante conhecido, com o surgimento da telefonia móvel *global system for mobile communications* (GSM), na década de 1990. Isso particularmente aconteceu com a chegada do 3G, que iniciava a internet sem fio. Falava-se na ocasião em uma nova fronteira, na qual todo tipo de *coisas* estaria se conectando: negócios; serviços; aparelhos domésticos; estradas; automóveis; casas; indústrias; escolas; e até mesmo governos. Nos dias de hoje, em todos esses ramos ou verticais, conhecemos aplicações que, de uma forma ou outra, realizam M2M.

As tecnologias entre máquinas basicamente se desenvolveram em cima de seis pilares, que se confundem e se combinam de alguma maneira: sensores *radio frequency identification* (RFID); telemática; telemetria; rede de sensores; aparelhos inteligentes; e monitoramento remoto.

Os RFIDs são uma combinação de transmissores e receptores, passivos ou não, que precisam ou não de acesso a fontes de energia para enviar ou receber alguma informação, código ou identificação, com o objetivo de rastrear o movimento próximo a um receptor de sinais. São usados, por exemplo, em fábricas, identificando produtos, que, ao entrarem na empresa, automaticamente atualizam o estoque; em fazendas de gado, nas quais o alimento é distribuído aos animais quando estes passam por uma porteira; ou até mesmo na cobrança automática

1. Trabalho apresentado ao Programa Executivo de Cooperação entre a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) e o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Este capítulo do livro é complementar à *Nota Técnica* nº 79, *Implementação da Tecnologia 5G no Contexto da Transformação Digital e Indústria 4.0*, publicada pelo mesmo instituto.

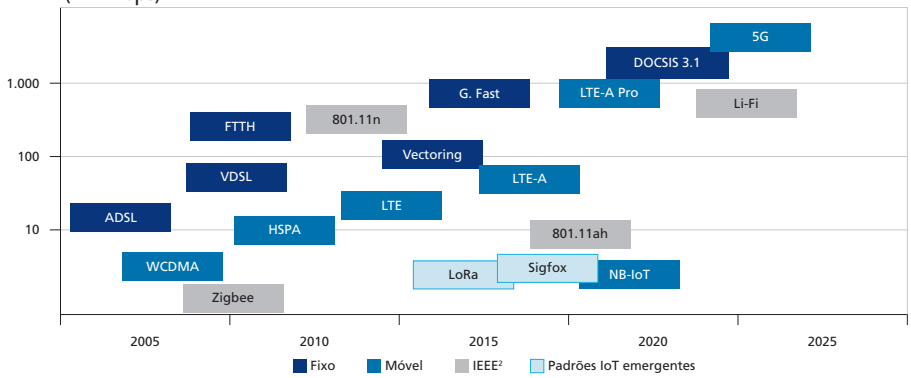
2. Consultor sênior de telecomunicações na Capgemini; e consultor do Programa de Cooperação entre a CEPAL e o Ipea.

de pedágio em autoestradas. O termo *telemática* está comumente associado ao monitoramento de frotas, em que a localização, os serviços de segurança e a navegação se comunicam em veículos com o mundo exterior, seja por tecnologias celulares ou satelitais. Telemetria é similar e talvez mais abrangente: significa o rastreamento e a atuação remota de qualquer coisa que se deseje monitorar, automática ou não, seja um animal selvagem em uma floresta, o desgaste de um carro de Fórmula 1 em tempo real, uma câmera de segurança, processos em uma planta industrial ou um *drone* controlado a distância.

O capítulo mais recente dessa evolução chama-se IoT. Os princípios de conectividade são similares, mas a tecnologia evoluiu; ou melhor, as tecnologias evoluíram. Se, no início, havia sensores medindo alguma variável e a enviando a determinada central para a tomada de decisões ou mero armazenamento de dados, nos dias de hoje, com o auxílio da computação em nuvem (*cloud computing*), passamos a falar em soluções complexas, completas, automáticas e realmente funcionais. O setor transformou-se de tal forma que há um ecossistema específico para esse mercado, com operadoras e fornecedores concentrados nesse ramo de atuação.

O gráfico 1 e o quadro 1 mostram a evolução tecnológica das redes de acesso e de algumas tecnologias IoT utilizadas atualmente, cada qual com vantagens e desvantagens. É importante notar que a maioria destas é constituída de padrões próprios de tecnologias, que não são muito conhecidas pelo público em geral.

GRÁFICO 1
Evolução das redes de acesso (2005-2025)
(Em Mbps)[1]



Fonte: EY (2017).
Notas: [1] *Megabits* por segundo.
[2] Especificações de internet sem fio criadas pelo Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE).

QUADRO 1
Alguns padrões de IoT utilizados atualmente, com objetivos específicos (LPWAN)[1]

	sigfox	LoRa	LinkLabs	INGENU	WEIGHTLESS	IoT Celular
Características principais	• Grande cobertura na Europa • Envia pequenas e infrequentes quantidades de dados	• Padrão "aberto", em que *chip* da Semtech é necessário, *LoRaWAN* acontece no *MAC layer* • Usado primeiramente para aplicações em que o *uplink* é importante	• Membro da aliança LoRa • Utiliza o *chip* LoRa, mas tem *layer* MAC próprio, chamado Symphony Link	• Esforço no desenvolvimento de nova base tecnológica • SigFox/LoRaWAN focaram soluções para rápido acesso ao mercado • Maiores capacidades de *upload* e *download* • Opera em 2,4 gigahertz (GHz), oferecendo maior cobertura	• Padrão aberto • Opera em frequências não licenciadas abaixo de 1GHz	• Vários padrões • Cat-1 • Cat-0 • Cat-M ou *long-term evolution* (LTE-M) • NB-IoT
Vantagens	• Em funcionamento • Fornecedores (TI, Silicomlabs e Axom) • Eficientes em termos de energia, sem circuito de recepção • Excelentes para monitoramento simples e aplicações de medição	• Membros influentes, grandes (IBM, Cisco, SK Telecom etc.) • Melhor segurança: AES CCM 128 *bits* • Mais de cem operações comerciais	• Alta sensibilidade • Frequências flexíveis • Adicionou funcionalidades ao *LoRaWAN*, como a habilidade de operar sem um servidor de rede	• Bons fundamentos tecnológicos • Oferece grande cobertura e robustez	• Excelente para redes de sensores • Bom alcance urbano	• Sensores mais sofisticados • Outros tipos de aplicações
Desvantagens	• Não é protocolo aberto • Segurança integrada mínima: encriptação de 16 *bits* • Não apropriado para casos em que o *downlink* é importante	• Capacidade de *download* limitada • Limitada aos fornecedores da Semtech	• Exige o *software* Symphony Link • Pequena comunidade de usuários	• Maior interferência • Penetração estrutural é um problema • Maior capacidade de processamento, pode não atender a critérios de longa vida útil de baterias	• Sem capacidade de *download* • Muito lento (100 *bits* por segundo) • Requer um oscilador de cristal com compensação de temperatura	• Maior consumo de energia • Cobertura inferior quando se compara a outros padrões

Fonte: Embedded. Disponível em: www.embedded.com.
Elaboração do autor.
Nota: [1] *Low power wireless access networks IoT*.

Os padrões foram, por sua vez, desenvolvidos com objetivos muito específicos, em que, por exemplo, havia a necessidade de sensores com baixíssimo consumo de energia, que precisam ficar em campo aberto por um longo período em funcionamento, ou que somente enviam informações de tempos em tempos, mas não possuem receptores, ou que precisam de um raio de cobertura maior para se comunicarem. Cada aplicação de conexão entre máquinas (IoT) descreve os requisitos tecnológicos necessários, que, por seu turno, indicam qual a melhor tecnologia a ser utilizada. Até mesmo com a introdução do padrão 5G, que propiciará um grande número de dispositivos comunicando-se e outras grandes vantagens, ainda assim serão necessárias outras tecnologias e redes complementares, para cobrir todos os tipos de demanda. Opções tradicionais por intermédio de tecnologias celulares, como o 4G, consomem muita energia em comparação a essas outras tecnologias.

Entre as tecnologias celulares, há ainda uma grande quantidade de subpadrões, cada qual aparecendo em sua evolução natural suprindo necessidades específicas, seja de cobertura, baixo custo, consumo de energia e taxa de *download* ou de *upload*, complicando ainda mais o entendimento do todo (família Cat).[3] *Narrow band* IoT (NB-IoT) representa uma IoT de baixa taxa de comunicação em rede celular, que ainda assim transmite mais dados que os outros padrões, com picos de velocidade em cerca de 200 *quilobits* por segundo (Kbps), tolerando pequenos *delays*. Já as tecnologias de redes móveis Cat-M ou LTE-M aceitam taxas mais elevadas, com pico de cerca de 1 Mbps, também voz. Sem entrar em detalhes de cada uma destas, pode-se dizer que as opções em tecnologias IoT não precisam ser mutuamente exclusivas e podem e devem operar em conjunto (Hwang, 2020).

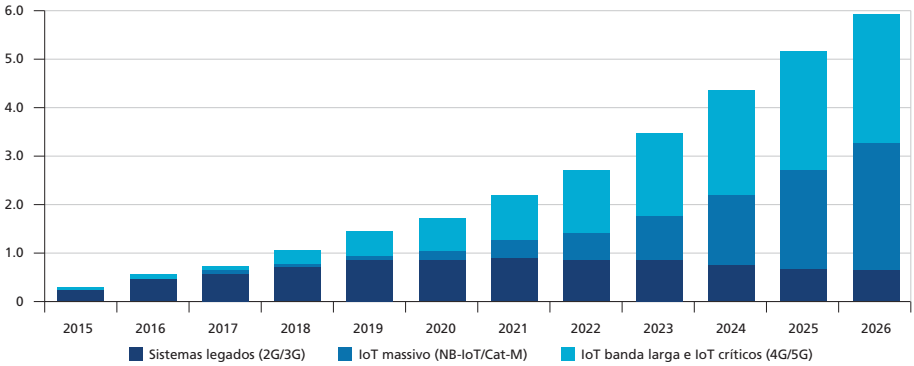
1.2 O mercado de IoT

O gráfico 2 mostra a estimativa feita pela Ericsson (2020) da evolução do mercado de conexões de IoT, por meio de celulares por segmento tecnológico, não se incluindo as tecnologias não celulares mencionadas anteriormente, o que é compreensível, considerando ser o fornecedor um dos líderes globais do setor. É importante notar também que o gráfico mostra três categorias de utilização, misturando um pouco as tecnologias.

Por ser o 5G uma evolução da tecnologia celular, trazendo em seu pacote de progresso grande contribuição para a conexão entre as máquinas, veremos nos próximos anos uma explosão de crescimento, como já prognosticado inúmeras vezes. Até 2020, entre as tecnologias celulares, a conectividade de IoT por intermédio de redes 2G e 3G ainda representa a maioria.

3. Família Cat = conjunto de padrões IoT celulares (Cat-0, Cat-1, Cat-M).

GRÁFICO 2
Conexões de IoT por meio de celulares por segmento e tecnologia (2015-2026)
(Em bilhões de usuários)



Fonte: Ericsson (2020).

O chamado IoT massivo consiste em aplicações típicas de áreas abrangentes, com grande número de conexões de baixa complexidade, dispositivos de baixo custo, baterias de longa duração e taxas relativamente razoáveis. Cerca de 110 operadoras já lançaram redes NB-IoT e outras 50 redes Cat-M, sendo que ambas se complementam. A Ericsson estima que, no final de 2026, redes NB-IoT e Cat-M representarão 45% de todas as conexões celulares IoT. Essas redes seguirão sua evolução natural para o 5G e continuarão a ser implementadas nas mesmas faixas de hoje em dia.

Redes IoT de banda larga incluem aplicações que se estendem em vastas áreas, apresentam baixa latência e exigem maiores taxas de dados, em comparação ao IoT massivo. O 4G já suporta a grande maioria das aplicações nesta categoria. Estima-se que, em 2026, 44% das conexões IoT celulares sejam IoT banda larga, sendo a tecnologia 4G a mais utilizada. Com a introdução do rádio 5G (NR) nas novas frequências e antigas, as taxas de dados crescerão substancialmente.

IoT críticos serão destinados para comunicação em que a entrega de dados com baixa latência precisa ser conseguida, tanto em redes locais como de larga abrangência. Aplicações típicas incluem *augmented reality/virtual reality* (AR/VR) baseadas na nuvem, carros autônomos, jogos na nuvem e controle de máquinas e processos em tempo real.

1.3 Transformação digital e indústria 4.0

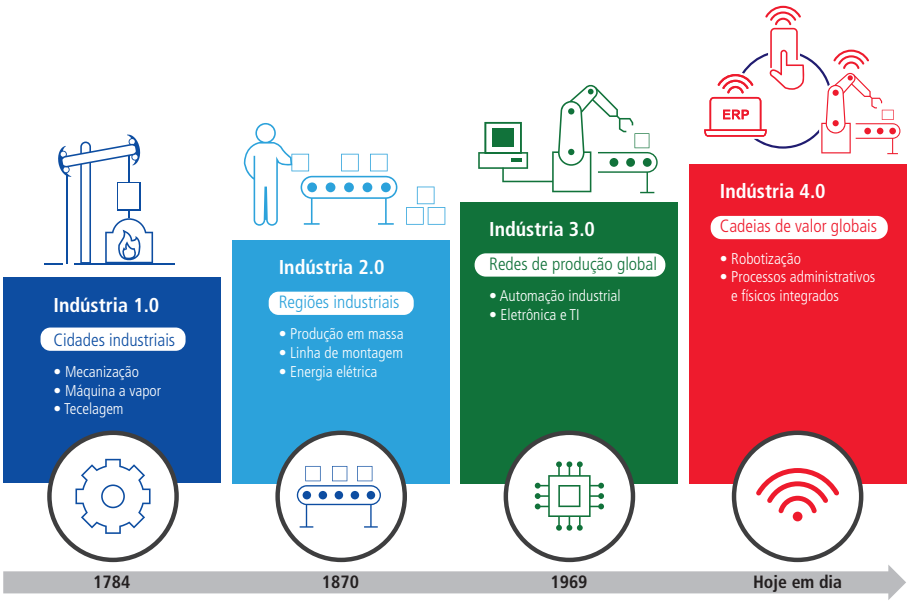
Transformação digital, 5G, indústria 4.0, inteligência artificial (IA), computação em nuvem, *blockchain* e muitos outros termos; o mundo está sendo inundado de novas expressões e pessoas e companhias não sabem nem por onde começar. Tudo isso é de fato necessário? Será que minha empresa precisa entrar nesse movimento? E se continuarmos trabalhando da mesma forma como sempre fizemos?

O tema é mais complexo do que se imagina e requer ser tratado neste texto, pois a transformação digital já está em curso há alguns anos, independentemente do novo modelo de telefonia móvel 5G. Tal transformação se iniciou muito antes do aparecimento do padrão, mas será certamente impulsionada por este. Em parte, essa confusão se dá também pelo fato de uma das interessantes aplicações para o 5G ser o uso em fábricas automatizadas, com robôs circulando de forma autônoma, utilizando-se dos novos recursos do 5G, como a baixa latência, o que poderia ser então compreendido como indústria 4.0 ou indústria do futuro.

O termo indústria 4.0, no entanto, tem origem no Ministério Federal de Educação e Pesquisa da Alemanha, que realizou um projeto para promover a informatização da manufatura. Foi inicialmente adotado na Feira de Hannover em 2011, sendo a transformação digital o caminho para chegar à indústria 4.0, estágio atual da evolução industrial, que utiliza cadeias de valor globalizadas, robotização e integrações entre os processos administrativos e processos físicos (figura 1).

A transformação digital é uma mudança radical na forma de pensar como uma organização utiliza tecnologia, pessoas e processos para mudar seu desempenho nos negócios. Empregam-se tecnologias e ferramentas digitais para criar ou modificar processos de negócios existentes, culturas empresariais e a experiência do usuário, conseguindo assim atender aos requisitos de mercado em constante modificação. À medida que novas tecnologias entram em curso, trazem novas experiências aos usuários, que, por sua vez, acabam as incorporando, tornando-as o novo *status quo*. Considere, por exemplo, o Uber, que revolucionou o setor de transporte de pessoas, forçando empresas de táxi, locadoras de automóveis, bem como fabricantes de veículos, a pensarem em como abarcar serviços similares de *carsharing* e/ou adicionar outros, como *bikesharing* ou *scootersharing*, em seus modelos de negócio. Empresas comuns de táxi precisaram agregar aplicativos quase que instantaneamente, para poderem competir. Assim acontece em qualquer setor do mercado.

FIGURA 1
Etapas e revoluções no desenvolvimento da indústria (1784-atualidade)



Elaboração do autor.

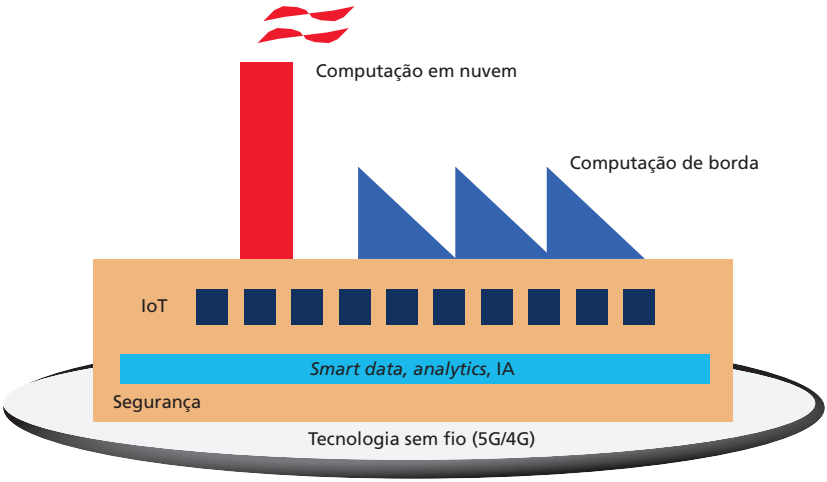
Ao repensar-se a maneira de fazer os negócios, as empresas passam por sua transformação, e, portanto, o tema vai muito além do simples uso de ferramentas digitais. A mudança transcende funções de vendas, *marketing* e atendimento ao cliente – ou seja, é uma jornada, pois o processo inicia-se da forma como os clientes são engajados desde o primeiro contato, algo nada trivial de fazer.

A transformação digital leva tempo para mudar uma organização. É um processo que exige resiliência, paciência e muito trabalho. Como já mencionado, não basta instalar uma nova ferramenta digital para dizer que o processo foi finalizado. Para ser capaz de transformar um negócio ou pelo menos prepará-lo para o futuro que se aproxima, é preciso compreender o que isso significa em termos de cultura empresarial, obtendo os conhecimentos e pessoas necessárias para suportar a estratégia definida. É preciso identificar os pontos fortes das empresas e aproveitar o uso da tecnologia, tentando simplificar processos e reduzir a complexidade. É muito importante salientar que toda a empresa deve tentar se envolver no processo. O grande desafio é fazer diferentes grupos na companhia trabalharem em conjunto em prol de um propósito comum. Em consequência, as organizações tendem a tornar-se mais eficientes, para continuarem existindo em um mundo cada vez mais competitivo.

O surgimento de novas tecnologias digitais, como IA, aprendizagem de máquina, *big data*, *analytics*, impressão 3D, computação em nuvem, computação de borda, *blockchain*, 5G, IoT, robótica e outras mais, está acelerando e formatando ainda mais a transformação digital. Em muitos casos, estão se transformando nas bases desse novo desenvolvimento industrial. O uso individual dessas tecnologias tem valor, mas o ganho somente é potencializado quando começam a trabalhar em conjunto (figura 2). Citando Aristóteles, pode-se afirmar nesses casos que "o todo é maior que a soma de suas partes".

Embora essa transformação possa ser ainda mais perturbadora para os modelos de negócios e mercados existentes, também gera muitas oportunidades. Cada ruptura cria chances para novos negócios, novos mercados e novas inovações, que estão disponíveis não apenas para empresas estabelecidas e países altamente desenvolvidos, mas também para firmas iniciantes ou mercados menos maduros. É preciso, no entanto, enxergar essas possibilidades.

FIGURA 2
"O todo é maior que a soma de suas partes" no contexto da indústria 4.0



Elaboração do autor.

A intuição humana é sintonizada para desenvolvimentos lineares, e tendemos sempre a subestimar o progresso (BCG e Darden School of Business, 2020). O ser humano compreende facilmente o que significa uma sequência numérica de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 etc. Entretanto, tem dificuldade de compreender um crescimento exponencial de 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 etc. Não é surpreendente, portanto, que as empresas também tendam a subestimar ou simplesmente não enxergar o impacto da tecnologia digital, que cresce de forma exponencial, principalmente quando não a entendem.

Se as empresas se desenvolvem linearmente e a tecnologia evolui exponencialmente, uma lacuna entre a entrega de valor real e o que seria possível em termos de tecnologia estabelece-se. Essa lacuna está aumentando muito rapidamente com o tempo e é frequentemente preenchida por organizações mais inovadoras – como é o caso de *startups*, que usam tecnologias para satisfazer as necessidades do cliente de maneira muito diferente do que as empresas tradicionais são capazes de ver ou entender totalmente e rapidamente realizar. A Nokia, por exemplo, antiga detentora de 40% do mercado mundial de telefones celulares, pagou um alto preço por isso e sumiu do mercado de telefones celulares.

Basicamente, três fenômenos simultâneos são responsáveis pelos atuais avanços tecnológicos: o contínuo desenvolvimento exponencial do processamento de dados, das velocidades de comunicação e das capacidades de armazenamento. O primeiro efeito é a famosa Lei de Moore, que estabelece que, a cada dezoito meses, a capacidade de processamento computacional é dobrada. A segunda lei afirma que a quantidade de dados comunicados por meio de apenas uma fibra óptica dobra a cada nove meses. A terceira lei trata do armazenamento de dados, afirmando que a capacidade de armazenamento de dados dobra a cada treze meses – mais recentemente, a cada dezessete meses (BCG e Darden School of Business, 2020). Esses acontecimentos não devem ser interrompidos no curto prazo, e a tendência é continuarmos na mesma toada atual.

Como nas revoluções anteriores, o gargalo de desenvolvimento muitas vezes não é o acesso à tecnologia, que cedo ou tarde acaba chegando a todos os mercados, mas as pessoas. Mudanças nunca são fáceis. A necessidade de modificar ambientes, empresas e, consequentemente, o que países como um todo conseguem produzir, também não. Nos tempos atuais, inovar, testar, experimentar, errar e continuar tentando fazer de forma diferente torna-se cada vez mais importante. Não é um tema acadêmico, precisa ser praticado, testado e atacado. É um processo dolorido, processo de transformação.

Nesse sentido, especial atenção deve ser dada à força motriz dessas transformações, o capital humano. As pessoas precisam ser educadas mais do que nunca, pois tudo se dá em velocidade exponencial. O risco de sociedades com níveis de educação formal menos acentuados ficarem para trás e verem países mais desenvolvidos distanciarem-se ainda mais dos mais pobres é enorme. Estudos repetem-se a todo instante, apontando sempre a importância da educação, especialmente a digital, mas em poucos lugares tem sido feito algo para atacar as deficiências e diminuir as diferenças.

A introdução do 5G, a transformação digital e todas as tecnologias que estão se juntando podem contribuir em muito para ajudar a melhorar a vida das pessoas, assim como aconteceu com as máquinas a vapor, a energia elétrica,

a tecnologia da informação (TI) ou a automação industrial. Novas tecnologias podem propiciar muitas outras alternativas, mas ainda mais importante é cuidar do capital humano que utilizará essas novas tecnologias. Assim como em uma transformação digital, fala-se na jornada do cliente estando ele no centro de todas as ações; o trabalhador comum também está no centro da transformação de uma empresa, assim como o cidadão médio no centro de uma sociedade ou um país.

1.4 A tecnologia 5G e a IoT no contexto da indústria 4.0

O 5G chegou com a especificação voltada não somente para o mercado empresa-consumidor (*business to consumer* – B2C), mas também para os segmentos empresa-empresa (*business to business* – B2B) e empresa-empresa-consumidor (*business to business to consumer* – B2B2C). As novas funcionalidades propiciam a conexão em massa de inúmeros dispositivos e podem, com outras tecnologias, ser combinadas, a fim de elevar a eficiência e a produtividade da indústria como um todo, ajudando em seu processo de transformação.

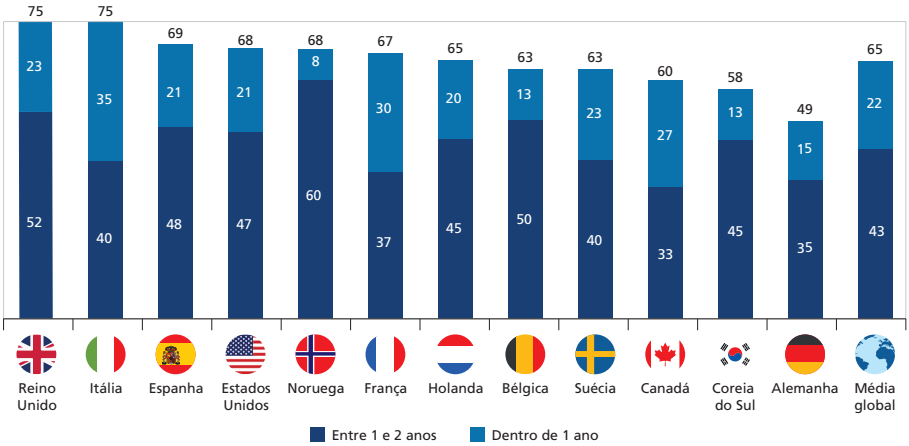
O desenvolvimento industrial sempre foi sinônimo de prosperidade e crescimento econômico. A globalização modificou completamente as cadeias produtivas, deslocando atividades para outros cantos do mundo; trouxe, em decorrência, pressão sobre o setor industrial, que enfrenta cada vez mais competição e precisa sempre produzir com qualidade e de forma mais eficiente. É exatamente nisso que a revolução digital se faz necessária. Os clientes esperam produtos mais personalizados às suas necessidades individuais, a velocidade de inovação e lançamento de novos produtos continua a acelerar, e a tolerância a erros diminuiu. E, se isso não bastasse, a internet oferece aos compradores mais opções do que nunca. Não há saída: para sobreviver e prosperar, os fabricantes devem oferecer excelência, acelerar introduções de novos produtos, agilizar o chão de fábrica e melhorar o atendimento de pedidos mediante operações inteligentes e conectadas.

De acordo com estudo realizado por CRI (2019), três quartos das empresas industriais pesquisadas em vários países do mundo acreditam que o 5G será um componente importantíssimo para sua transformação digital nos próximos cinco anos. Na pesquisa, o 5G é considerado mais relevante que IA ou *analytics*, pois é visto como motor de conectividade, capaz de impulsionar o desenvolvimento em escala de tecnologias como o processamento real de imagens, a automação avançada, AR/VR ou o processamento de informações próximo à operação, perdendo somente para a computação em nuvem.

Parte da atração pode ser explicada pela capacidade de o 5G ser capaz de resolver desafios de conectividade das organizações industriais. Essa tendência é consistente em todos os países pesquisados, nos quais os três principais desafios de conectividade mencionados foram a falta de cobertura (63% dos respondentes), a confiabilidade do sinal (56%) e a velocidade da rede (46%).

O gráfico 3 mostra que 65% dos respondentes estão dispostos a implementar 5G nos próximos dois anos após sua disponibilidade. Dessa lista de países, chama atenção a Alemanha, com apenas 49% dos entrevistados dizendo que adotariam 5G em até dois anos de sua disponibilidade.

GRÁFICO 3
Organizações dispostas a implementar 5G em suas operações, por país
(Em %)



Fonte: CRI (2019).
Obs.: 1. Universo da pesquisa (N): 806 empresas industriais.
2. Pesquisa pré-covid-19.

Uma provável explicação é que os executivos alemães sentem que já estão fazendo grandes progressos na indústria 4.0 – somente 29% acreditam que as atuais soluções de conectividade estão atrasando suas iniciativas de transformação digital, índice bem inferior à média global de 44%.

O estudo identificou aplicações de chão de fábrica, nas quais a transformação digital em curso pode ser melhorada por meio do 5G (quadro 2). Essas aplicações estão relacionadas com a possibilidade de monitoramento, controle e tomada de decisões em tempo real, em que as maiores velocidades, a baixa latência e a confiabilidade da comunicação 5G podem ser convertidas em informações importantes para o aprimoramento da eficiência operacional.

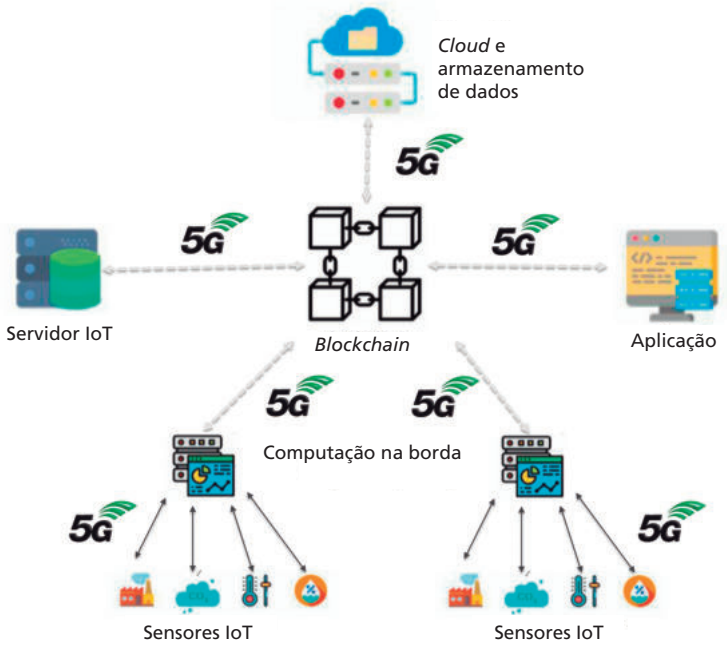
QUADRO 2
Exemplos de aplicações de chão de fábrica em que o 5G pode beneficiar operações industriais

Aplicações em tempo real, alavancando a computação de borda	As maiores velocidades e confiabilidade da comunicação 5G aliadas à possibilidade de conectar de dez a cem vezes mais dispositivos são capazes de propiciar dados em tempo real de um grande número de aparelhos, que podem ser convertidos em informações importantes, alavancando a computação de borda.
Monitoramento de vídeo de linhas de produção remotas	A maior velocidade propiciada pelo 5G pode oferecer vídeos de alta definição em tempo real.
Controle de linhas de produção remotas distribuídas	A qualidade de serviço propiciada pelo 5G com redes de baixa latência e conexões confiáveis pode suportar operações remotas de operações de tempo crítico.
Dispositivos controlados remotamente com IA, como robôs, *drones* e arros autônomos	As transmissões de dados rápidas e confiáveis do 5G podem oferecer as habilidades de controle remoto a estas inovações, com o correto grau de segurança.
Alertas em tempo real	Redes de baixa latência podem proporcionar serviços em tempo real de emergência em sistemas remotos. O 5G poderá melhorar a efetividade de sistemas de monitoramento, uma vez que conseguem conectar mais dispositivos por meio de redes mais seguras e confiáveis.
Operações remotas/manutenção e soluções de treinamento por meio de AR/VR	As redes de baixa latência e as altas taxas de comunicação disponíveis nas redes 5G podem suportar o desenvolvimento de sistemas baseados na nuvem de serviços de realidade aumentada e virtual (AR/VR).
Manutenção preditiva e preventiva	As redes 5G podem melhorar a confiabilidade de redes preventivas e preditivas de manutenção, uma vez que aumentam a aquisição de dados em tempo real de diversos dispositivos – que, por sua vez, também podem suportar IA/*analytics*.

Fonte: CRI (2019).
Obs.: N: 806 empresas industriais.

A figura 3 exemplifica como várias dessas novas tecnologias podem trabalhar em conjunto em ambientes industriais. Trata-se de projeto de pesquisa da Universidade Sungkyunkwan (SKKU), na Coreia do Sul, que mostra que o potencial de disrupção está no conjunto da obra. Sensores IoT medem poluentes industriais e os transmitem via redes sem fio 5G para análise. Os nós extremos possuem capacidade computacional para fazer as primeiras análises dos dados e, eventualmente, tomar as primeiras decisões (computação de borda). Os dados são processados em seus servidores, que fornecem dados para o programa aplicativo. Os dados extraídos são transferidos para a nuvem. Toda a comunicação é protegida por meio de criptografia com *blockchain*, para evitar falsificação e adulteração de dados. A camada de aplicativo consiste em dispositivos de armazenamento e ferramentas de análise. As redes 5G suportam grandes quantidades de tráfego, com segurança, confiabilidade e baixa latência.

FIGURA 3
Exemplo da aplicação industrial de várias tecnologias no contexto da indústria 4.0



Fonte: Han, Park e Jeong (2019).

Um tema que tem sido frequentemente questionado é a possibilidade do uso de redes públicas ou evoluções das atuais redes *wi-fi*, que historicamente sempre ocuparam esses ambientes. O padrão *li-fi*[4] ou até mesmo o novo padrão *wi-fi* 6 – que inclusive compartilha de evoluções tecnológicas do 5G, como as funcionalidades *multi-user, multiple-input, multiple-output* (MU-MIMO), *orthogonal frequency-division multiple access* (OFDMA) ou *beamforming* – poderiam ser também utilizados. No entanto, o *wi-fi* sempre teve problemas com relação à cobertura e à segurança oferecida, deixando espaço para a entrada de tecnologias celulares, capazes de resolver enfim essas demandas. O 5G em ambiente industrial pode ser extremamente confiável e uma solução segura para aplicações críticas. Entretanto, é importante dizer que redes 5G não serão a resposta para todas as aplicações, em todos os tamanhos e tipos de indústrias. O 5G é mais uma opção para certos tipos de problemas, e muito provavelmente teremos redes 5G privadas trabalhando com redes virtuais públicas dedicadas (*slices*), adquiridas em associação com as operadoras, no tocante às novas versões do *wi-fi* (Sbeglia, 2020). O sucesso do 5G em ambiente industrial dependerá também da facilidade oferecida ao cliente

4. Do inglês *light fidelity*, é uma tecnologia de comunicação sem fio que usa a luz de diodos emissores de luz (LEDs) para realizar comunicação em rede, móvel e de alta velocidade, de maneira semelhante ao *wi-fi*.

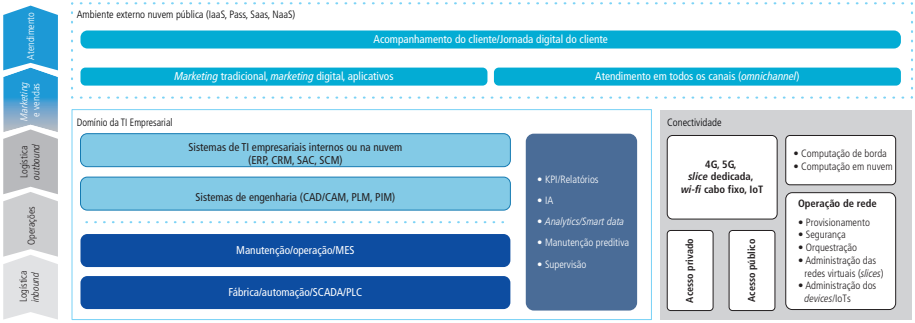
final – nesse caso, a corporação sedenta de uma solução de conectividade. Não há garantias de que as operadoras estão preparadas para esse movimento e para esse tipo de clientes, deixando espaço para novos entrantes, que tradicionalmente já serviam as indústrias. Por sua vez, instalar uma rede 5G não é tão simples como uma rede *wi-fi*, trata-se de outro tipo de conhecimento. Integradores estão bem posicionados nesse mercado, pois conhecem a fundo não somente os problemas dos clientes nas diversas verticais de mercado, mas também as diferentes possíveis tecnologias a serem utilizadas.

FIGURA 4
Exemplo de aplicações 5G em redes privadas

Fonte: Qualcomm e Freepik. Disponível em: https://www.qualcomm.com/news/onq/2019/10/whats-future-5g; e https://www.freepik.com.
Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Quando enfim colocamos tudo o que foi apresentado até o momento neste artigo em conjunto, IoT, transformação digital, indústria 4.0, 5G no chão de fábrica e um coquetel de tecnologias amigas, chegamos a algo parecido com a figura 5, em que um novo mundo se materializa. A imagem representa, em suma, a potencial arquitetura convergente de TI com a parte operacional da produção industrial, por meio da tecnologia operacional (*operational technology* – OT), tendo em consideração a cadeia de valor de uma empresa. Tudo se digitaliza, tudo se conecta – de atendimento ao cliente, *marketing* e vendas, logística interna e externa até a gestão empresarial da empresa e da produção, com suporte de novas opções de conectividade, armazenamento e tratamento seguro de dados na nuvem. Certamente, trata-se de um novo capítulo na evolução industrial.

FIGURA 5
Potencial arquitetura de TI/OT convergente em ambiente industrial



Fonte: IoT World, Globalsign, Porter e CRI.
Elaboração do autor.
Obs.: IaaS – *infrastructure as a service*; PaaS – *platform as a service*; SaaS – *software as a service*; NaaS – *network as a service*; ERP – *enterprise resource planning*; CRM – *customer relationship management*; SAC – serviço de atendimento ao consumidor; SCM – *supply chain management*; CAD – *computer added design*; PIM – *product information management*; PLM – *product lifecycle management*; MES – *manufacturing execution systems*, PLC – *programmable logic controller*; SCADA – *supervisory control and data acquisition*; KPI – *key performance indicators*.

Nesse contexto, vale a pena mencionar o projeto Gaia-X (BMVI, 2020), iniciativa europeia para a próxima geração de uma infraestrutura de dados e de soberania digital. A intenção é conseguir de alguma forma evitar a dependência para gigantes como Amazon, Azure, Google, Alibaba ou Tencent, que já concentram os dados na nuvem das empresas que optaram por não manter seus dados em seus próprios domínios em nível global atualmente. Muito se fala na mídia quanto ao uso de equipamentos 5G de fornecedores chineses, mas essa briga, apesar de muito mais relevante do ponto de vista estratégico, nem é mencionada.

1.5 Políticas públicas europeias para a indústria 4.0

Durante décadas, a Europa tem se classificado entre as regiões mais industrializadas do mundo, sendo o setor industrial um motor de crescimento econômico e de geração de empregos. De acordo com Davies (2015, p. 2), embora apenas cerca de uma em cada dez empresas na União Europeia fosse classificada como manufatura, o setor reunia dois milhões de empresas, gerava indiretamente empregos em outros setores, e era responsável por mais de 80% das exportações, assim como por 80% da pesquisa e inovação no setor privado, elementos-chave para o crescimento econômico sustentável.

Apesar de toda essa importância, a contribuição relativa da indústria para a economia da Europa tem caído, tendo perdido um terço da sua base industrial nos últimos quarenta anos, o que representou em 2021 apenas 14,3% do valor agregado total.[5]

Essa "desindustrialização", processo que também está presente em outras economias desenvolvidas, acontece pelo aumento da manufatura em outras partes do mundo – principalmente na China – e pela realocação de trabalho para países com custos de produção mais baixos. Com o crescimento do setor de serviços, a participação relativa da indústria cai ainda mais. A necessidade de buscar formas de elevar a participação da manufatura na produção econômica é latente, o que faz da digitalização um caminho inevitável para esses objetivos. A nova revolução industrial digital traz a promessa de maior velocidade na produção, flexibilidade na fabricação e personalização em massa, assim como melhor qualidade e produtividade. No entanto, para conseguir capturar esses benefícios, as empresas precisarão investir em equipamentos, TI e análise de dados, bem como na integração dos fluxos de dados em toda a cadeia de valor, que ainda por cima é globalizada.

Em resposta a esses desafios, a maioria dos governos europeus criou políticas públicas para aumentar a produtividade e a competitividade da indústria. O quadro 3 resume algumas dessas iniciativas iniciadas nos últimos anos (EC, 2017).

5. Disponível em: https://data.worldbank.org/indicator/NV.IND.MANF.ZS?end=2019&most_recent_value_desc=true&start=1992&view=chart&year=1991.

QUADRO 3
Comparação de programas de incentivo à indústria 4.0 na Europa

País	Nome do programa	Lançamento	Público-alvo	Orçamento (€ milhões)	Financiamento	Foco estratégico	Setor	Resultados conseguidos
França	Alliance pour l'Industrie du Futur	2015	Indústria e produção de base, PMEs	10.000	Misto	Implantação	IoT, IA, *big data*, saúde, cidades inteligentes e segurança digital	Mais de oitocentos empréstimos para empresas; 3.400 avaliações para modernizar a produção de empresas; mais de trezentos especialistas identificados; e dezoito regiões envolvidas.
Alemanha	Plattform Industrie 4.0	2011	Manufatura, PMEs e responsáveis por políticas públicas	200	Misto	Implantação	IoT e integração física digital	Redução da segregação da indústria; agenda de pesquisa transformada na prática; desenvolvimento de arquitetura de referência; e lançamento da plataforma com 150 membros.
Itália	Intelligent Factory Cluster (CFI)	2012	Grandes empresas, PMEs, universidades e centros de pesquisa	45	Público	Pesquisa	Genérico	Criação de uma plataforma e implementação de quatro projetos de pesquisa prioritários.
Holanda	Smart Industry	2014	Mercado em geral	25	Misto	Implantação	Genérico	Criação de quatorze laboratórios até o final de 2016: cada laboratório teve faturamento entre € 250 mil e € 4 milhões anuais.
Espanha	Connected Industry 4.0	2016	Indústria, principalmente PMEs	97,5	Público	Implantação e pesquisa	Plataformas digitais, *big data* e aplicações colaborativas	Criação de programa de pesquisa e inovação e programa-piloto de suporte empresarial.
Suécia	Produktion 2030	2013	Indústria, PMEs e instituições de pesquisa	50	Misto	Implantação	Genérico	Financiamento de trinta projetos envolvendo mais de 150 empresas; criação de escola de doutorado e obtenção de 50% de cofinanciamento da indústria para cada projeto.
Reino Unido	HVM Catapult (HVMC)	2012	Indústria e instituições de pesquisa	164	Misto	Implantação	Automotivo, aeroespacial, químico, nuclear, farmacêutico e eletrônico	Atingiu 123% da meta traçada; cada € 1,00 de financiamento público gerou € 17,00 de receita.

Fonte: EC (2017).

As políticas escolhidas nos diversos países são em alguns casos mais práticas, como na Alemanha, e mais voltadas à pesquisa, a exemplo da Itália. Não houve foco em tecnologia ou setor específico, sendo relativamente abertas a várias áreas. A maioria das políticas contou com financiamento público, sendo este complementado com investimentos privados, tendo conseguido resultados bem diversos. As iniciativas focaram tecnologias e infraestrutura, com desenvolvimento de habilidades como objetivo secundário. Na Suécia, houve a introdução de um programa nacional de graduação em produção. A colaboração entre os diferentes atores envolvidos foi comum nos diferentes programas. Entre as fraquezas identificadas na maioria deles, pode-se citar o financiamento limitado, o planejamento e os mecanismos de monitoramento deficitários para engajar pequenas e médias empresas (PMEs), e a falta de definição de objetivos claros com marcos e resultados bem definidos. Instrumentos mais inovadores e comuns no mercado, assim como incentivos fiscais, deveriam ser considerados. Outro tema observado foi a falta de coordenação no nível europeu, com troca de conhecimentos e melhores práticas. Em suma, temos um longo caminho a percorrer; é apenas o início da jornada.

2 JUNTANDO AS PEÇAS: 5G, IOT E TRANSFORMAÇÃO DIGITAL

A transformação digital está progredindo rapidamente, e as tecnologias da informação e comunicação (TICs) moldam todos os aspectos da economia e da sociedade como nunca anteriormente. O volume de dados *online* está se tornando cada vez maior – e móvel. A transformação digital continua tomando seu curso natural, com as novas tecnologias sendo introduzidas, modificando estratégias empresariais e introduzindo novos modelos de negócios.

A tecnologia 5G, abordada em Spadinger (2021), entra como mais uma peça nessa equação, trazendo novas funcionalidades para esse contexto, sendo uma destas a possibilidade de redes em malhas, o que favorece maior número de conexões ao mesmo tempo. Como dito anteriormente, as mudanças já estavam em curso e a transformação digital independe do 5G. Grande parte da comunicação entre máquinas ainda se dará por 4G (gráfico 2) ou por outros padrões (quadro 1). O 5G deve ser visto como um facilitador e elo entre outras tecnologias, em que o "todo é maior que a soma de suas partes", também apresentado em seção anterior. A introdução do 5G facilitará a conexão entre máquinas, e a padronização facilitará a adoção de produtos e serviços em torno da tecnologia. Assim, além dos dispositivos móveis para usuários finais, tais como *smartphones* e *tablets*, teremos cada vez mais um maior número de máquinas conectadas, sejam veículos, eletrodomésticos, máquinas industriais ou todo tipo de sensores, trocando dados e informações. Todo esse fluxo é direcionado para a nuvem de dados, que – por meio de outras tecnologias – analisa os dados, tira conclusões rápidas e retroalimenta todo o processo, criando um movimento constante de informações.

Esse novo cenário cria desafios sem precedentes em termos de conectividade, capacidade, segurança e proteção de dados, como também qualidade de serviço. As comunicações móveis serão particularmente afetadas por isso, porque muitas aplicações digitais do futuro exigem rápida conexão sem fio.

O primeiro passo é possibilitar a base dessa evolução, apoiando a implantação de redes 5G e o desenvolvimento de aplicações. As redes que sustentam toda a comunicação sem fio – ou seja, os *backbones* e os acessos por meio de fibras ópticas – desempenham um papel fundamental nesse processo.

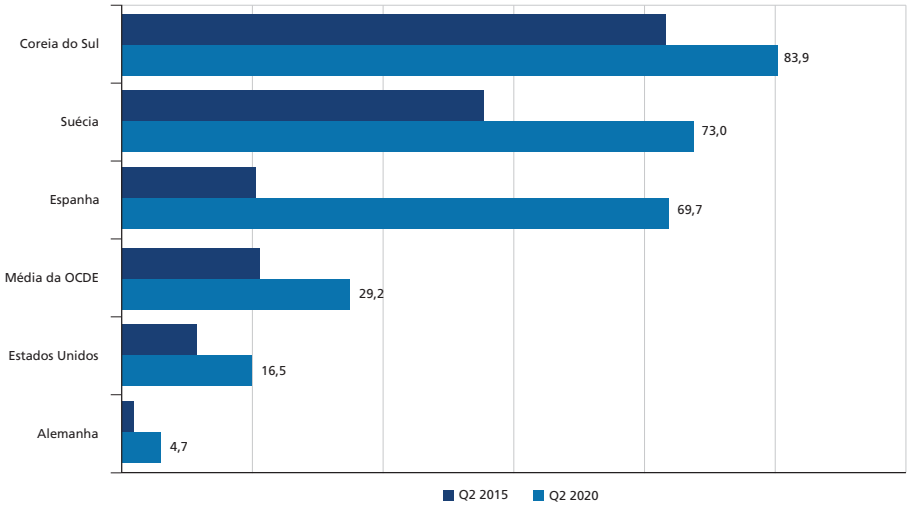
Embora o Brasil tenha tido enormes avanços nos últimos anos, as redes de banda larga ainda precisam ser universalmente acessíveis. De acordo com o Núcleo de Informação e Coordenação do Ponto BR (CGI.br, 2018), 46% dos domicílios brasileiros ainda não possuem nenhum tipo de conexão à internet, sendo 41% nas áreas urbanas e 74% nas áreas rurais. O acesso à internet por banda larga começou a massificar-se por volta de 1995. Em 2005, metade da população dos países desenvolvidos já estava conectada à rede. No momento, a média de pessoas que usam a internet em países desenvolvidos é superior a 80%, mas, no mundo em desenvolvimento, apenas 41% têm acesso. A privatização das telecomunicações no Brasil foi fundamental para a transformação do setor, no qual as operadoras vêm ocupando uma posição importante na expansão das redes, ao permitirem a conectividade de milhões de pessoas. No entanto, como mencionado em Spadinger (2021), o setor de telecomunicações, que continua em constante transformação, chega a um momento de impasse, no qual a demanda por serviços cresce mais rapidamente do que é possível viabilizar economicamente.

Ou seja, se o Brasil já precisava melhorar sua infraestrutura de telecomunicações para atender à demanda não suprida, terá de melhorar ainda mais, devido às exigências futuras iminentes.

O gráfico 4 e a tabela 1 trazem a evolução das conexões de fibra óptica como percentual das conexões de banda larga fixa, em alguns países do mundo e no Brasil. Como se pode observar, a evolução tem sido substancial no Brasil. Se, em 2017, as conexões via fibra óptica representavam somente 11% das conexões de banda larga fixa do Brasil, em 2020 esse percentual chegou a 46%,[6] índice bem superior aos pífios 5% da Alemanha, por exemplo.

6. Disponível em: https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/acessos/velocidade-contratada-banda-larga-fixa.

GRÁFICO 4
Conexões em fibra óptica nas conexões banda larga fixa – países selecionados (2015 e 2020)
(Em %)



Fonte: OECD. *Broadband Portal*. Disponível em: https://www.oecd.org/sti/broadband/broadband-statistics/.
Obs.: OCDE – Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico.

TABELA 1
Evolução dos acessos banda larga fixa por tecnologia – Brasil (2017-2020)

	Acesso banda larga			
Acessos (1 mil)	2017	2018	2019	2020
Fibra	3.120	5.681	10.099	16.892
Cable Modem/HFC	9.034	9.496	9.590	9.585
xDSL	13.096	12.233	9.447	6.155
Outras	3.522	3.633	3.504	3.383
VSAT	135	190	268	330
Total	**28.907**	**31.233**	**32.914**	**36.345**
Acessos (%)	2017	2018	2019	2020
Fibra	11	18	31	46
Cable Modem/HFC	31	30	29	26
xDSL	45	39	29	17
Outras	12	12	11	9
VSAT	0	1	1	1

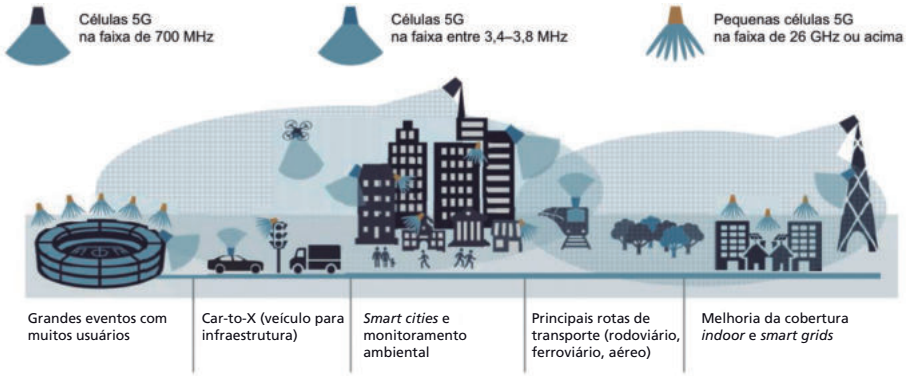
Fonte: Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) e Teleco. Disponível em: https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/acessos/velocidade-contratada-banda-larga-fixa; e https://www.teleco.com.br/.

No entanto, 46% dos domicílios brasileiros ainda não possuem nenhum tipo de conexão à internet, o que já não se pode dizer da Alemanha. Este país, por sua vez, atualmente tem redes 5G e *backbones* em fibra óptica; porém, o acesso residencial de banda larga fixa normalmente não é feito via fibra óptica. Em situação semelhante, encontra-se a Inglaterra, cuja penetração de fibras ópticas nas conexões de banda larga fixa é inferior a 4%. Ambos os países lançaram programas governamentais (Gigabit Broadband, na Inglaterra, e Turbo Internet, na Alemanha), com o objetivo de melhorar a infraestrutura até o cliente final, seja ele um cliente residencial ou uma empresa. Na Alemanha, cerca de 71% da população vive em cidades abaixo de cem mil habitantes e 60% da economia encontra-se em regiões consideradas rurais, fora dos grandes centros. Por essa mesma razão, há imensa necessidade de melhoria da infraestrutura de telecomunicações do país em direção à fibra óptica, como base para o 5G e a indústria 4.0 (BMVI, 2016). Na Inglaterra, no programa mencionado anteriormente, o objetivo do governo é ter 80% dos acessos com banda larga *gigabit* até 2025, pois a demanda por dados é cada vez maior. O financiamento é público, mas o investimento é privado. No mesmo país, cerca de 20% das propriedades comerciais não possuem internet adequada e situam-se em áreas consideradas rurais. O governo inglês ofereceu 100% de isenção fiscal de impostos específicos em estabelecimentos comerciais que forem atendidos por novas infraestruturas de fibras ópticas para um período de cinco anos, mas operadoras pedem prorrogação do prazo para pelo menos quinze anos, uma vez que esse tipo de infraestrutura precisa de décadas para rentabilizar-se (Hutton, 2021).

No Brasil, de acordo com o Sindicato Nacional das Empresas de Telefonia e de Serviço Móvel, Celular e Pessoal – Conexis (Telecom..., 2021), os investimentos das prestadoras de telecomunicações somaram R$ 31 bilhões em 2020, sendo o aporte médio dos últimos cinco anos em dados nominais de R$ 30,5 bilhões, grande parte aplicados na instalação de fibra óptica, o que comprova o crescimento dos acessos via fibra óptica no país. No entanto, o setor menciona que os investimentos estão sendo feitos em cenário de queda de receitas, o que exige uma reforma tributária urgente, para que se possa continuar apostando no setor.

Para ser capaz de suprir as demandas de transporte de dados, latência e número de usuários simultâneos das mais diversas aplicações, as estações rádio base (ERBs) 5G precisarão ser alimentadas por fibras ópticas. A figura 6 exemplifica algumas aplicações prováveis com o 5G e o espectro de frequência que provavelmente adotarão para cada uso. Aplicações que exigem grande mobilidade trabalharão em frequências mais baixas, para cobrir áreas maiores, mas em contrapartida terão menores taxas de dados. Já aplicações localizadas, como em estádios ou no centro de cidades, trabalharão com frequências mais altas, podendo oferecer uma taxa de dados muito maior. Porém, apresentarão células com raios de cobertura pequenos.

FIGURA 6
Aplicações e respectivas faixas de frequência 5G



Fonte: 5G Strategy for Germany. Disponível em: https://bmdv.bund.de/SharedDocs/EN/publications/5g-strategy-for-germany.pdf?__blob=publicationFile.
Obs.: 1. Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).
2. MHz – mega-hertz.

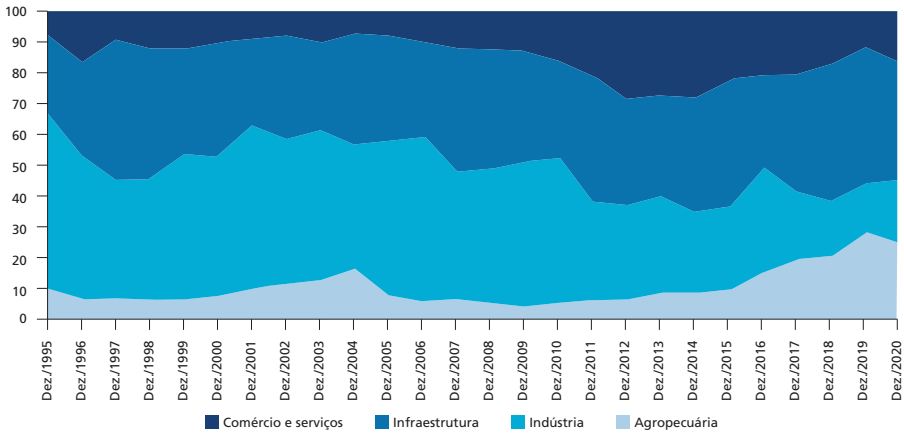
Ou seja, o número de ERBs conectadas via fibras ópticas tende a crescer muito, e, portanto, será de suma importância compartilhar recursos entre operadoras de forma simplificada. A coexistência de infraestruturas compartilhadas será fundamental para o desenvolvimento das redes, seja nas grandes cidades, seja nas estradas ou na área rural, e precisa ser facilitada. Esse é um dos grandes desafios para a implantação de redes 5G na maior parte do mundo, que já não encontra espaço disponível para novas infraestruturas. Uma possibilidade considerada em alguns países é utilizar, na medida do possível, infraestruturas públicas para a instalação das picocélulas.

É interessante observar a evolução dos financiamentos advindos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) no Brasil para a indústria das telecomunicações nos últimos 25 anos. O gráfico 5 mostra o avanço dos desembolsos setoriais (BNDES, 2021) para as quatro principais categorias: comércio e serviços, indústria, agropecuária e infraestrutura. A área de telecomunicações pertence à categoria infraestrutura e foi realçada no gráfico. É possível averiguar claramente que os desembolsos têm caído no decorrer dos anos para o segmento. Ademais, verifica-se também o aumento dos investimentos no âmbito agrícola e queda no industrial. É fato que o segmento agrícola sempre foi a vocação natural do país, ainda mais com o setor de *commodities* aquecido nos últimos anos. No entanto, diante dos acontecimentos atuais – da necessidade crescente de digitalização, da globalização das cadeias de suprimento e das discussões sobre novas tecnologias para melhoria da competitividade das empresas e, consequentemente, do país – é um tanto quanto paradoxal que não se invista mais em nichos

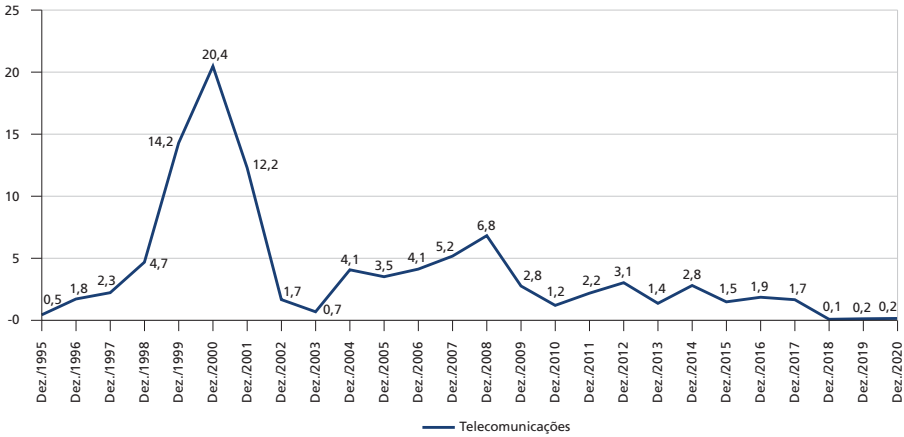
que possam agregar valor e melhor atender às demandas futuras da indústria 4.0, como na indústria de telecomunicações, que constitui as bases para as economias do futuro.

GRÁFICO 5
Evolução dos desembolsos setoriais do BNDES por setor (dez./1995-dez./2020)
(Em %)

5A – Evolução dos desembolsos setoriais do BNDES por segmento



5B – Evolução dos desembolsos para o setor de telecomunicações do BNDES



Fonte: BNDES (2021).
Obs.: O percentual se refere ao total desembolsado no respectivo ano.

Os temas na verdade complementam-se, pois cada vez mais todos os setores são influenciados e precisam de soluções digitalizadas. Aplicações como o uso de *blockchain* no setor agrícola já estão disponíveis. Por meio destes recursos, as empresas oferecem ao produtor agrícola novos modelos de negócio, nos quais não

é mais necessária a compra de determinado trator, pois é possível pagar pelo uso desse tipo de equipamento. Além disso, tudo é protegido e devidamente registrado pela tecnologia. Outro exemplo em que as TICs são fundamentais é no mercado de energia. Neste segmento, dados coletados de turbinas eólicas distribuídas por vastas regiões são imediatamente transmitidos para a nuvem, para análise e tomada de decisões. As possibilidades são infinitas e em todos os setores haverá, de uma forma ou outra, a necessidade de sólida infraestrutura de telecomunicações.

O 5G será parte desse ecossistema de forma gradual. No momento, o mercado global está tateando o tema, experimentando e estudando casos em que seu uso possa trazer benefício imediato. As operadoras encontram-se em uma situação nova, pois o principal mercado de seus serviços era o consumidor final (B2C) e, pela primeira vez, o maior beneficiado do novo padrão não é o cliente usual, mas a indústria ou o mercado B2B. A dinâmica de inovações do setor de TICs, incluindo-se telecomunicações, é mais acelerada que a de outros setores. Os setores industriais normalmente adotam soluções já testadas no mercado, pois assim conseguem avaliar melhor os ganhos de produtividade esperados com a introdução dessas inovações. Grandes grupos industriais experimentam a tecnologia em seus domínios, com redes privadas, estudando ainda formas de integrar suas operações. Operadoras de telecomunicações buscam novos clientes (B2C), que, por sua vez, não enxergam ainda benefício expressivo, comparado ao 4G. É preciso mencionar, no entanto, que as atuais redes 5G instaladas são baseadas no Release 15,[7] cujas funcionalidades ainda não eram tão diferentes, salvo principalmente ganho em velocidade. No momento, a tecnologia tem sido utilizada em aplicações como monitoramento de vídeo em alta definição ou em processos de manutenção usando realidade virtual e aumentada. A partir do segundo trimestre de 2021, as novas redes comerciais 5G já poderão fazer a migração para o Release 16, que é uma especificação que permite avanços diferenciados, como IoT massivo, latências mais baixas e redes virtualizadas. Isso significa que veremos a partir de agora experimentos mais interessantes do ponto de vista da indústria e, aos poucos, as incertezas e as novas demandas serão definidas, até mesmo porque as redes 5G trazem novas possibilidades para a parte de conectividade; porém, isso é somente uma parte da equação.

Tecnologias como 5G, IoT, computação de borda, computação em nuvem, *analytics*, IA e *blockchain* chegaram para transformar a indústria. A adoção de parte desses recursos já acontece, sendo o foco atual a melhoria da eficiência no chão de fábrica. Há, no entanto, ainda muito mais oportunidades do uso destas tecnologias em toda a cadeia de suprimentos, como parcialmente mostrado em potencial arquitetura industrial convergente (figura 5).

7. Disponível em: https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-15.

O ecossistema móvel ainda está se adaptando às necessidades específicas do setor industrial, que se encontra inseguro sobre os reais benefícios da utilização de todas essas tecnologias. Para que o ecossistema de manufatura 5G IoT amadureça, este deve atender às necessidades de uma grande variedade de verticais da indústria, cada qual com requisitos diferentes e únicos. Muito provavelmente, os atuais modelos comerciais de redes, plataformas e serviços de conectividade deverão ser revistos ou adaptados às necessidades de desempenho dos processos de produção industrial. A integração aos sistemas de fabricação existentes será um requisito fundamental para o futuro.

Quando analisamos o atual panorama da transformação digital na Europa, percebe-se que há ainda muito o que se fazer. Tomando-se a Alemanha como exemplo, por ser um país altamente industrializado e a economia mais forte da Europa, percebe-se que o *status* de implementação da transformação digital da economia e da sociedade ainda está em seus estágios iniciais e tem um longo caminho a percorrer, como descrito a seguir.

1) De acordo com Freeform Dynamics e Fujitsu (2020), somente 4,8% das empresas na Alemanha, na Áustria e na Suíça possuem habilidades suficientes para utilizar completamente os dados que possuem, também em tempo real, e empregá-los de forma proativa em vários contextos das organizações, com ajuda da IA e do *big data analytics*. Além disso, 46% das empresas possuem boa disponibilidade de informações comerciais, consistentes e atualizadas; 45,8% possuem competência básica, mas com visibilidade comercial desigual; e 3,5% são caóticas e com nenhuma clareza quanto aos dados.

2) Empresas digitalizadas estão na vantagem, pois os números mostram que suas receitas e o número de funcionários subiram muito acima da média nos últimos três anos.

3) Apenas um terço das pessoas na Alemanha são pioneiras digitais e possuem as respectivas habilidades digitais. Essa é uma proporção muito baixa, considerando-se que a digitalização também significa uma cooperação muito mais intensa entre empresas e consumidores. Homens, pessoas mais jovens e pessoas com níveis de educação e renda mais elevados possuem afinidade digital acima da média.

4) O E-Government é ainda pouco difundido na Alemanha. Apenas 18% dos adultos utilizam a internet para assuntos relativos às autoridades públicas. Na União Europeia, esse índice corresponde a um terço (Lichtblau e Bertenrath, 2018).

5) Em suma, a Alemanha é somente razoável em termos do uso de TICs na economia e na sociedade, mas possui bons fundamentos para mudar esta situação rapidamente e vem progredindo.

Diante desse panorama, foram criados programas governamentais para dar suporte ao processo de digitalização das PMEs em toda a Alemanha, que financia diretamente ou contribui com empréstimos para investimentos e capital de giro. O financiamento está disponível para aplicações em *hardware* e *software*, para a transformação digital dos processos de trabalho, produção e gestão, introdução ou melhoria da segurança dos sistemas de TI, consultoria e qualificação digital dos funcionários.[8] Algo similar poderia ser eventualmente realizado no Brasil para as PMEs, ajudando-as no que diz respeito aos atuais desafios de um mundo competitivo e digitalizado.

No Brasil, há diversos programas de capacitação para jovens ou adultos, como o programa Qualifica Mais, do Ministério da Educação (MEC), que oferece vagas gratuitas para cursos de qualificação profissional com foco na inserção do aluno no mercado de trabalho, ou o Escola do Trabalhador 4.0, do Ministério da Economia (ME) e Microsoft, que promove a capacitação em habilidades digitais para reinserção no mercado de trabalho, ou, ainda, o Brasil Mais TI, do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), que também oferece cursos livres em TI. Em todos esses casos, o foco é a preparação e a requalificação da força de trabalho, algo muito necessário e que precisa ser acelerado, devido à grande demanda. O exemplo da Alemanha, além da qualificação, ajuda o empresário a transformar e impulsionar a competitividade de seu negócio.

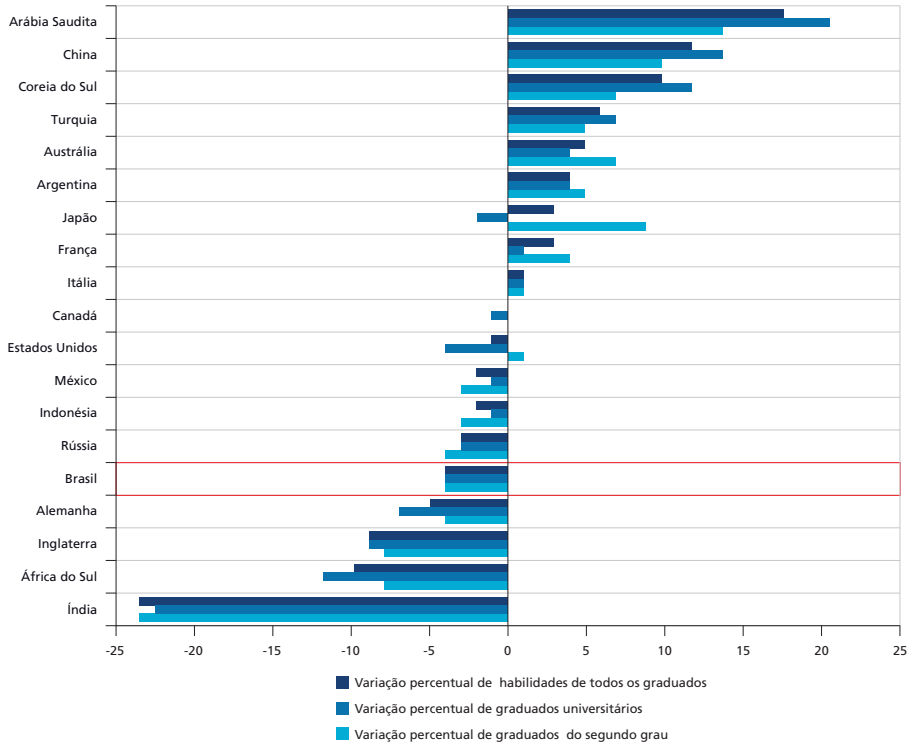
O capital humano precisa ser mais bem aproveitado, uma vez que a expansão econômica não mais poderá ser alcançada pelo crescimento da população, mas somente pela melhoria da produtividade do trabalhador. O gráfico 6 mostra a modificação percentual entre 2016 e 2020 das habilidades necessárias para o futuro de graduados das principais economias do mundo, membros do Grupo dos Vinte (G20), para o ensino médio e o nível universitário.

Os sistemas educacionais universitários mais bem colocados no quesito de preenchimento das necessidades dos empregadores são Suíça, Singapura, Finlândia e Chile. Em contraste, temos a Etiópia, a Índia, o Brasil, o Japão, a Itália e a Inglaterra. Tanzânia e China estão entre as nações que mais melhoraram, enquanto Índia, Etiópia e Estados Unidos se situam entre as que apresentam o maior declínio. Em decorrência disso, a habilidade de encontrar trabalhadores qualificados decresceu, entre nações desenvolvidas, em 7% relativos a 2016. De forma geral, há dificuldades em obter mão de obra qualificada para as novas tecnologias

8. Disponível em: https://www.ihk.de/berlin/service-und-beratung/finanzierung/foerderprogramme-digitalisierung-4295658.

emergentes em todos os mercados, tornando-se ainda mais iminente o investimento massivo em educação, especificamente na digital.

GRÁFICO 6
Nível de habilidades necessárias para o futuro de graduados das principais economias do mundo (2016-2020)
(Em %)



Fonte: WEF (2020).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O acesso e o uso de TICs têm melhorado globalmente, mas permanecem longe de serem universais. A crise do covid-19 deixou isso muito claro. A digitalização tem avançado em um ritmo rápido nas últimas décadas. Os usuários de internet dobraram desde 2010, chegando à marca de 53,6% da população mundial em 2020 (WEF, 2020). Desse índice, 14,9% possuem uma assinatura de banda larga fixa, na qual normalmente as conexões são mais rápidas. Ainda assim, nos Estados Unidos e na Europa, 10% dos assinantes de banda larga fixa acessam a internet com velocidades abaixo de 10 Mbps e 30% abaixo de 30 Mbps. Em países emergentes e em desenvolvimento, a exclusão digital ainda é extrema, pois 95% da

população desconectada encontra-se nesses países. Em tais localidades, as assinaturas por banda larga fixa são minoria (11,2%) e mais da metade das conexões são abaixo de 10 Mbps.

Com o advento da pandemia de covid-19, o uso de ferramentas digitais foi acelerado em todas as economias. Nos Estados Unidos, por exemplo, a taxa anual de crescimento do comércio eletrônico era de 10% antes da pandemia e cresceu para 24% de julho de 2019 a julho de 2020. O número de cursos *online* cresceu enormemente, bem como o número de pessoas em teletrabalho. Certamente, o mundo não será o mesmo após a pandemia, demandando ainda melhores infraestruturas de comunicações.

Para cobrir esse déficit, os governos de todo o mundo precisam aplicar recursos em infraestrutura e fomentar o investimento por meio da iniciativa privada. Será necessário abraçar o processo de digitalização, migrando para modelos de negócios digitais e apostando no desenvolvimento de habilidades ligadas a TICs. Vale lembrar, como visto na subseção 1.3, que a transformação digital não é um tema somente relacionado ao uso de novas ferramentas digitais, mas principalmente à transformação do capital humano necessário para conduzir todo esse processo. As capacidades e as habilidades de indivíduos e organizações são um fator-chave para a geração de riqueza e produtividade, e há claramente escassez de talentos em todo o mundo e desalinhamento com as necessidades futuras. Existe, também, carência de políticas para programas de qualificação e requalificação do mercado de trabalho, além da necessidade de expansão de investimentos na educação e formação das habilidades básicas para os empregos do futuro, repensando, em paralelo, leis trabalhistas e adaptando-as às novas demandas da força de trabalho. A digitalização não apenas criará novos empregos, mas também eliminará outros, principalmente os não qualificados. O objetivo deve ser conduzir as pessoas na nova jornada, fornecendo-lhes treinamento e desenvolvimento. É muito importante ter em mente que a transformação digital não é somente uma questão de melhoria da eficiência dos atuais processos e preparação das pessoas para lidar com isso. Deve-se dar também prioridade para a conscientização das empresas quanto à possibilidade de otimizar modelos de negócio existentes e explorar novos caminhos, agregando valor.

As economias que forem capazes de aperfeiçoar sua infraestrutura de TIC e expandir a adoção de tecnologias digitais estarão mais bem preparadas para o futuro próximo. Como os avanços tecnológicos continuam acontecendo em velocidade exponencial, os ganhos de produtividade de uma economia passam necessariamente pela capacidade das empresas de aproveitar as oportunidades oferecidas pelas novas tecnologias. Nesse sentido, todo o arcabouço legal precisa estar alinhado com o mundo digital, para que os modelos de negócio digitais

possam de fato ser alavancados. A tabela 2 traz os países mais avançados mundialmente nos quesitos adoção de TICs, habilidades digitais, estrutura legal digital e uso de acordos trabalhistas flexíveis adaptados à realidade digital. É possível notar que até mesmo países desenvolvidos, como Alemanha ou Japão, não se encontram entre os melhores em todos os critérios e também precisam trabalhar no sentido de prepararem-se para a próxima fase do crescimento econômico, em que a indústria 4.0 realmente chega a outro nível.

TABELA 2
***Ranking* dos principais países em termos de uso e estrutura preparada para o digital**

Ranking	Adoção de TICs		Acordos trabalhistas flexíveis		Habilidades digitais		Estrutura legal digital	
1	Coreia do Sul	93,7	Holanda	82,7	Finlândia	84,3	Estados Unidos	78
2	Emirados Árabes Unidos	92,3	Nova Zelândia	77,7	Suécia	79,5	Luxemburgo	77,4
3	Hong Kong	90,2	Suíça	75,8	Estônia	77,9	Singapura	76,5
4	Suécia	89,7	Estônia	75	Islândia	77,6	Emirados Árabes Unidos	72,5
5	Japão	88,3	Estados Unidos	74,2	Holanda	77,3	Malásia	70,0
6	Singapura	88,1	Luxemburgo	73,6	Singapura	77,3	Estônia	69,3
7	Islândia	87,8	China	72,9	Israel	76,5	Suécia	67,9
8	Noruega	84,7	Austrália	72,9	Dinamarca	74,1	Finlândia	67,7
9	Quatar	83,9	Finlândia	72,5	Arábia Saudita	74,1	Alemanha	67,3
10	Lituânia	83,8	Dinamarca	72,4	Coreia do Sul	73,0	Holanda	65,5

Fonte: WEF (2020).
Obs.: A pontuação é expressa considerando uma escala de 0-100, que abrange a soma da avaliação de várias categorias.

A necessidade de buscar formas de elevar a participação da manufatura na produção econômica é latente, o que faz da digitalização um caminho inevitável para esses objetivos. A nova revolução industrial digital traz a promessa de maior velocidade na produção, flexibilidade na fabricação e personalização em massa, bem como melhor qualidade e produtividade. Mas é preciso agir rapidamente.

REFERÊNCIAS

BCG – BOSTON CONSULTING GROUP; DARDEN SCHOOL OF BUSINESS. **Digital transformation**. Charlottesville: BCG; Darden School of Business/University of Virginia, Aug. 2020.

BMVI – BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR. **Turbo-Internet für alle!** Das Bundesprogramm für superschnelles Breitband. Berlin: BMVI, 2016.

_____. **Gaia-X**: the European project kicks off the next phase. Berlin: June 2020. Disponível em: https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/gaia-x-the-european-project-kicks-of-the-next-phase.pdf?__blob=publicationFile&v=13.

BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Evolução dos desembolsos**. Rio de Janeiro: BNDES, 2021. (Séries setoriais). Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/transparencia/estatisticas-desempenho/desembolsos.

CGI.BR – COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL. **Banda larga no Brasil**: um estudo sobre a evolução do acesso e da qualidade das conexões à internet. São Paulo: CGI.br, 2018.

CRI – CAPGEMINI RESEARCH INSTITUTE. **5G in industrial operations**: how telcos and industrial companies stand to benefit. Paris: Capgemini, Apr. 2019.

_____. **Digitalisierung und intelligente Technologien**. Paris: Capgemini, 2020.

DAVIES, R. **Industry 4.0**: digitalisation for productivity and growth. Brussels: EPRS, Sept. 2015. Disponível em: https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf.

EC – EUROPEAN COMMISSION. **Key lessons from national industry 4.0 policy initiatives in Europe**. Brussels: EC, May 2017.

ERICSSON. **Ericsson Mobility Report**. Stockholm: Ericsson, Nov. 2020.

EY – ERNST & YOUNG GLOBAL LIMITED. **Digital transformation for 2020 and beyond**: a global telecommunications study. London: EY, 2017.

FREEFORM DYNAMICS; FUJITSU. **The data-driven business**: a maturity perspective. United Kingdom, Dec. 2020. (Infographic). Disponível em: https://sp.ts.fujitsu.com/dmsp/Publications/public/ig-ddts-maturity-perspective-en.pdf.

HAN, Y.; PARK, B.; JEONG, J. **A novel architecture of air pollution measurement platform using 5G and blockchain for industrial IoT applications**. Suwon: Department of Smart Factory Convergence/SSKU University, 2019.

HUTTON, G. **Gigabit broadband in the UK**: government targets and policy. London: UK Parliament, 30 Apr. 2021. (Briefing Paper, n. CBP 8392).

HWANG, Y. Cellular IoT explained: NB-IoT *vs*. LTE-M vs. 5G and more. **IoT for all**, 26 June 2020. Disponível em: https://www.iotforall.com/cellular-iot-explained-nb-iot-vs-lte-m.

LICHTBLAU, K.; BERTENRATH, R. **Digital-Atlas Deutschland**. Köln: Iwconsult, März 2018. Disponível em: https://www.iwconsult.de/fileadmin/user_upload/pdfs/2018/digital-atlas.pdf.

SBEGLIA, C. Wi-fi, public 5G or private network: what's an enterprise to do. **IoT Insights**, Dec. 2020.

SPADINGER, R. **Implementação da tecnologia 5G no contexto da transformação digital e indústria 4.0**. Brasília: Ipea, Jan. 2021. (Nota Técnica, n. 79). Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10419/1/NT_79_Diset_ImplementacaoTecnologia5G_Industri4.0.pdf.

TELECOM investiu R$ 31 bilhões em 2020 e aumentou número de empregos. **Conexis**, 11 maio 2021. Disponível em: https://conexis.org.br/telecom-investiu-r-31-bilhoes-em-2020-e-aumentou-numero-de-empregos%E2%80%AF/.

WEF – WORD ECONOMIC FORUM. **The Global Competitiveness Report**. Cologny, WEF, 2020.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

BMVI – BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR. **5G strategy for Germany**: a scheme to promote the development of Germany to become a lead market for 5G networks and applications. Berlin: BMVI, July 2017.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

CAPÍTULO 7

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

Anna Carolina M. L. Ribeiro[1]
Pedro Cavalcanti G. Ferreira[2]
Carlos Denner dos Santos Junior[3]

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 robótica[4] 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 no 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*.

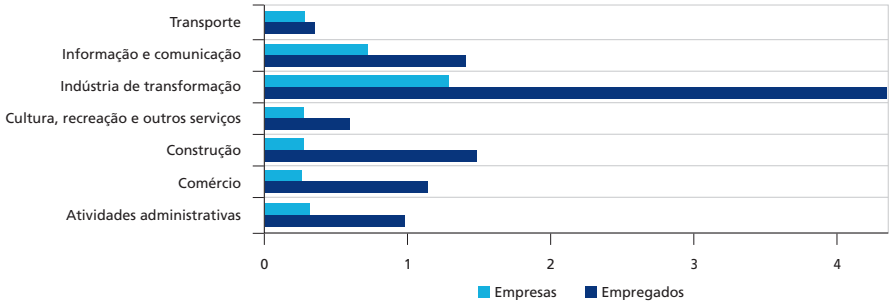
A partir das respostas às questões citadas, foram geradas, na base de dados, variáveis *dummy* que dividiram a amostra em grupos de tratamento (empresas utilizadoras de robôs de serviço ou industriais) e de controle (empresas que não utilizam qualquer tipo de robô).

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.

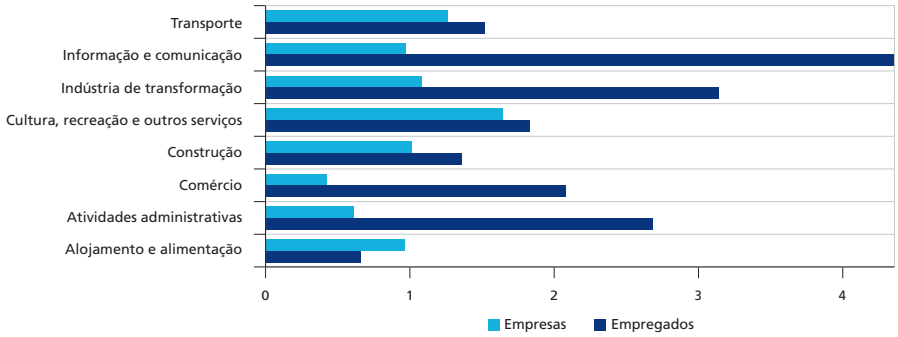
GRÁFICO 1
Empresas que utilizam robôs industriais, por setor de atividade (2018)
(Em %)



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.

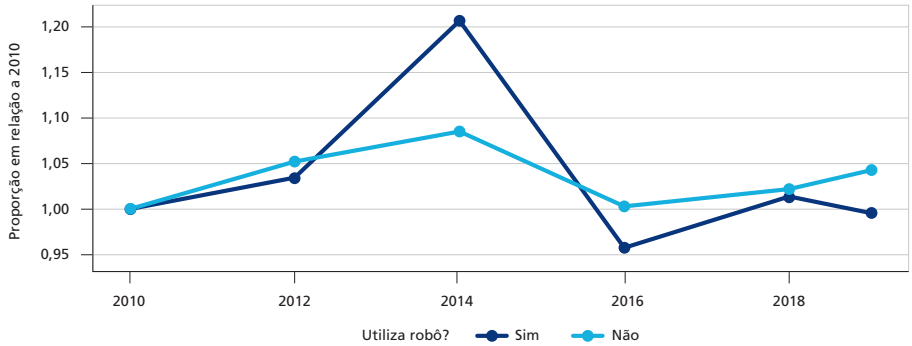
Foi observada ainda a trajetória relativa dos dois grupos de empresas ao longo do tempo, coletando dados da Rais entre 2010 e 2019 e comparando os níveis relativos de emprego e salários médios das empresas com e sem robôs. O objetivo desse exercício foi comparar as empresas com elas mesmas ao longo do 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.

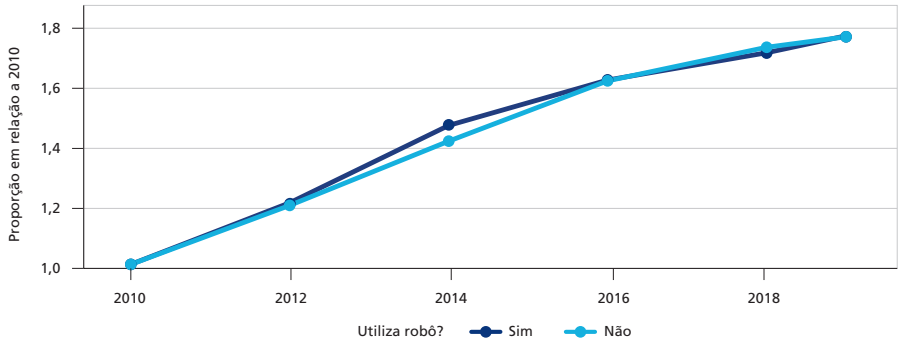
GRÁFICO 3

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.

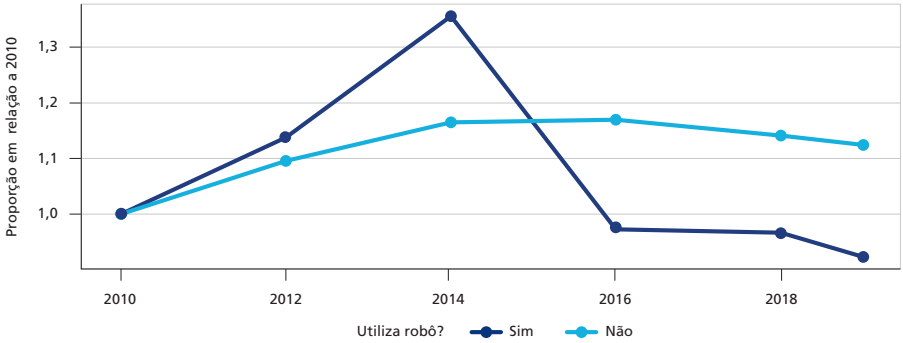
Os grupos de empresas não automatizadas e automatizadas têm desempenho semelhante quanto aos salários, e ambas acumularam ganhos salariais ligeiramente acima da inflação do período.

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.

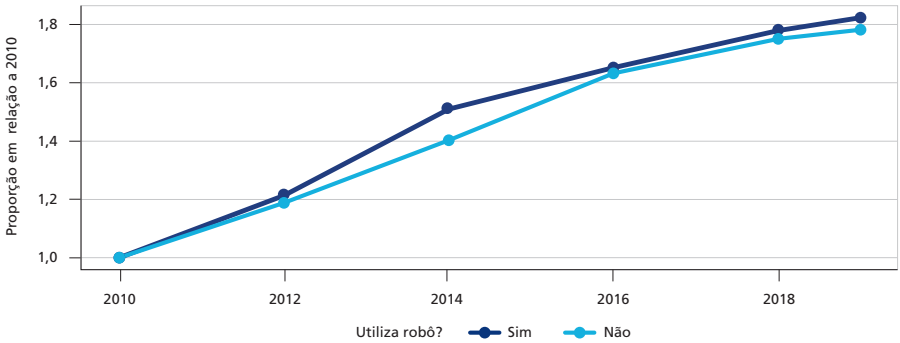
GRÁFICO 4

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.

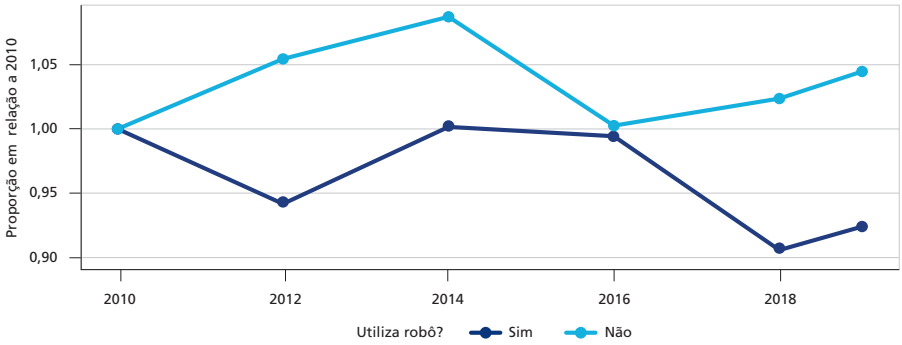
A hipótese de que essa evolução seja resultado de um efeito poupador de mão de obra gerado pela automação seria crível, sim, mas ainda altamente especulativa. É necessário analisá-la em estudos futuros, pois nesse caso há limitações intrínsecas aos dados. Por exemplo, não é possível, sem violar os estratos 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.

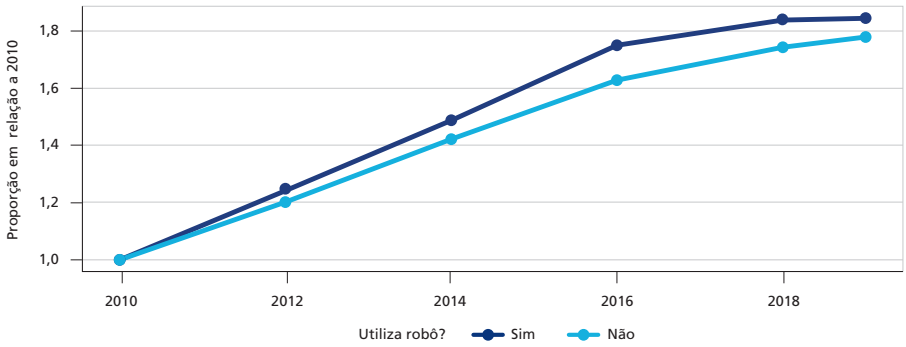
GRÁFICO 5

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

5A – Número médio de empregados



5B – Salário médio

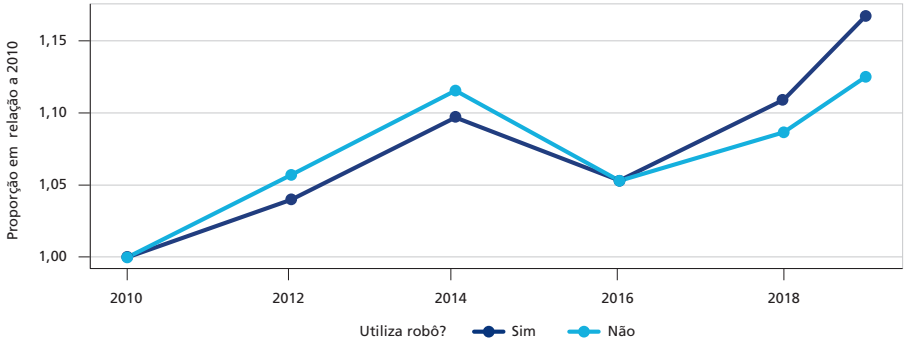


Fonte: TIC Empresas e Rais.

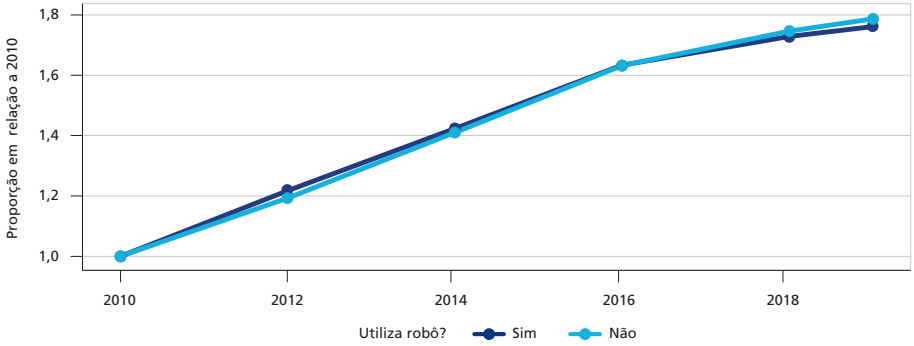
GRÁFICO 6

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

6A – Número médio de empregados



6B – Salário médio



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***	0,473***	0,061*	0,050
(0,095)	(0,098)	(0,030)	(0,031)
	Robô de serviços		
0,593**	0,549**	0,083´	0,080´
(0,212)	(0,199)	(0,042)	(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.

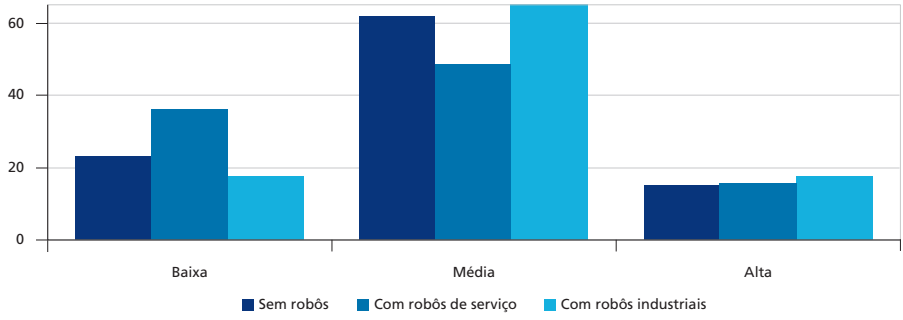
O efeito dessa tecnologia nas oportunidades de emprego e salários para diferentes grupos de habilidades também é ambíguo, pois depende de quais trabalhadores

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, consequentemente, 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.

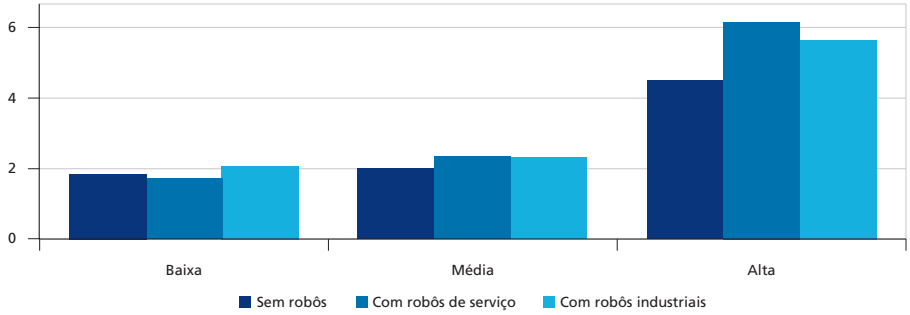
GRÁFICO 7
Empresas com e sem robôs: proporção de empregados por nível de qualificação (2018)
(Em %)



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)



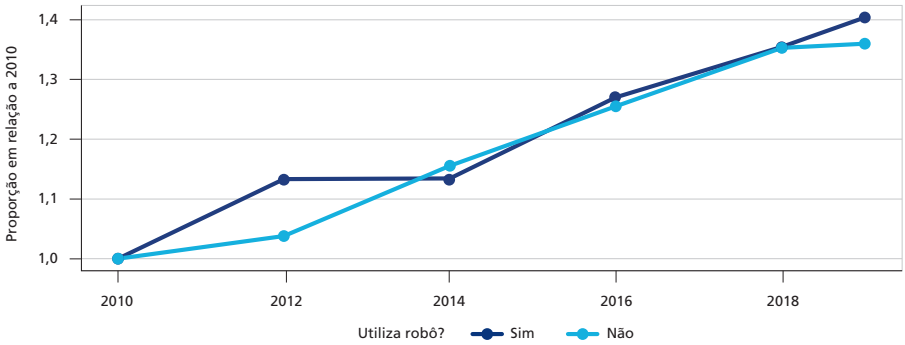
Fonte: TIC Empresas e Rais.

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.

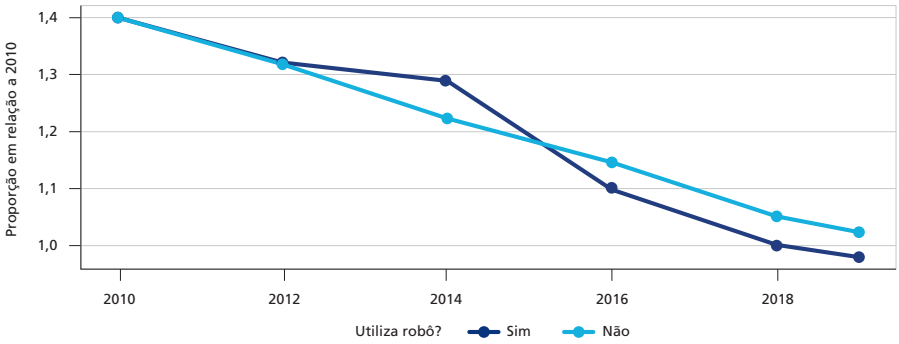
GRÁFICO 9

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

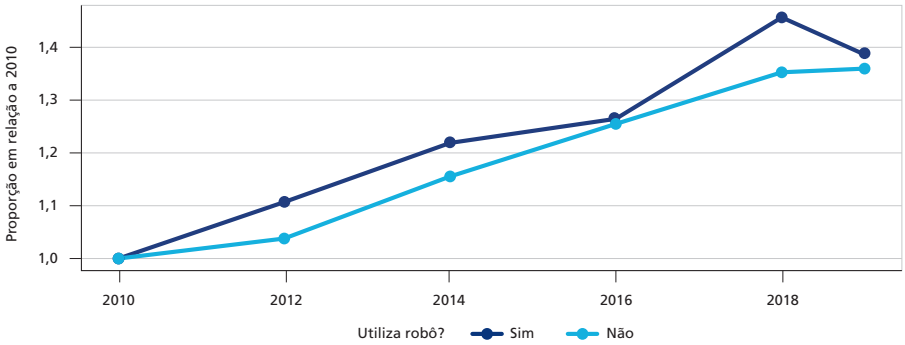
com baixa qualificação e um aumento na proporção de trabalhadores com pelo menos ensino superior incompleto. A proporção de empregados com alta qualificação está entre 35% e 40% acima daquela observada em 2010. Por sua vez, os trabalhadores de baixa qualificação representam entre 57% e 75% do que representavam 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.

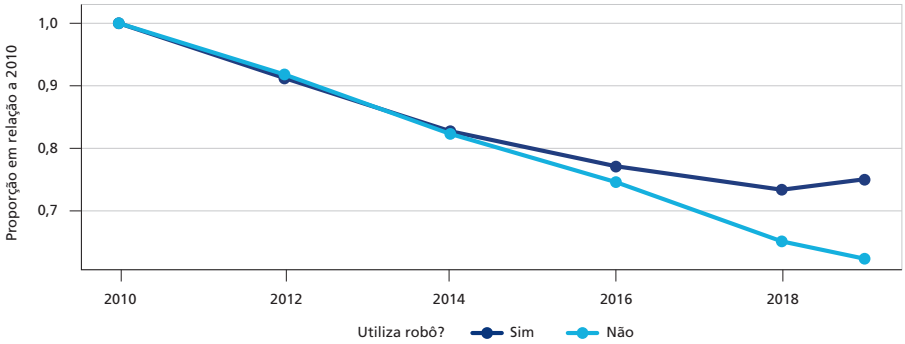
GRÁFICO 10

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´	0,048´	0,000	0,059	0,041
(0,064)	(0,027)	(0,032)	(0,047)	(0,031)
		Robô de serviços		
0,097	0,060´	0,005	0,045	0,065
(0,064)	(0,036)	(0,053)	(0,041)	(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, consequentemente, 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, consequentemente, 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.

CAPÍTULO 8

TRANSFORMAÇÃO DIGITAL: ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DA PLATAFORMA GOV.BR E DA EVOLUÇÃO DA MATURIDADE DA POLÍTICA DE GOVERNO DIGITAL NO BRASIL

Fernando André Coelho Mitkiewicz[1]

1 INTRODUÇÃO

A transformação digital pode ser entendida como o processo de utilização das tecnologias da informação e comunicação para gerar soluções visando resolver de forma inovadora e em larga escala os problemas do mundo. Segundo Rogers (2017), a tecnologia é o meio e não o fim desse processo, que teria mais relação com a estratégia e o modo de pensar a resolução de problemas do que com a tecnologia em si.

A forma como se produzem, se processam e se transmitem dados e informação tem sido transformada ao longo da chamada Revolução Industrial desde sua primeira fase, no século XVIII, com a criação do telégrafo, passando pela disseminação do telefone fixo, dos computadores e da internet. Na fase atual, a economia da informação encontra-se no seu ápice. Há mais poder de processamento na palma da mão de uma pessoa nos dias de hoje do que uma empresa multinacional tinha três décadas atrás. Da mesma forma, uma conexão 5G entrega mais banda de dados para um dispositivo móvel do que um grande escritório tinha disponível em média há vinte anos. Isso sem contar a possibilidade de localização em tempo real com GPS, a massificação de sensores embutidos nos *smartphones* e os serviços em nuvem, que dispõem de alta capacidade de processamento e armazenamento, de forma escalável.

Esse avanço tecnológico, aliado a novos modelos mentais de inovação, levaram à redução de barreiras, disrupção de setores econômicos e mudança na sociedade decorrentes do acesso fácil à informação, do relacionamento pelas redes sociais e pela comunicação instantânea. Diamandis e Kotler (2018) citam como exemplo desse processo a *startup* Airbnb, que em 2014 foi avaliada em US$ 10 bilhões, sem construir uma só estrutura física, se tornando mais valiosa do que a rede Hyatt Hotels, que valia US$ 8,4 bilhões na mesma época. Anos depois, em abril de 2023, a rede Hyatt foi avaliada em cerca de US$ 9,5 bilhões, enquanto a Airbnb saltou para cerca de US$ 110 bilhões.

---

1. Superintendente de Tecnologia da Informação (STI) da Agência Nacional de Aviação Civil (Anac).

Essas novas plataformas digitais, como Airbnb, Uber, Spotify e outras, acostumaram o consumidor a uma facilidade e uma autonomia de uso sem precedentes nos novos serviços digitais entregues, que não limitam o usuário com relação a horário de funcionamento nem com a necessidade de deslocamento a um estabelecimento físico.

Segundo a OECD (2020a), a transformação digital da economia e da sociedade mudou as expectativas sobre os governos, levando a pressões por maior abertura e criação de espaços e mecanismos nos quais cidadãos e empresas poderiam expressar suas necessidades. Nesse sentido, o uso estratégico do digital e dos dados tem o potencial de ajudar as organizações do setor público a entregarem melhores serviços à população, resultando em maior satisfação e confiança dos cidadãos nos governos. Dessa forma, fica evidente a relevância estratégica da adoção de tecnologias digitais para resolver os problemas públicos e para a promoção da cidadania.

O Brasil, em novembro de 2022, apresentou o segundo melhor índice do mundo em maturidade de GovTech do Banco Mundial entre 198 países (World Bank, 2022). Também em 2022, o Brasil figurou na melhor posição histórica no *ranking* do índice de serviços *online* da Organização das Nações Unidas (ONU), com o 14º lugar entre 193 países. A população vem percebendo uma aceleração na transformação digital de serviços públicos e utilizando cada vez mais os serviços públicos digitais por meio da plataforma gov.br, já havendo mais de 140 milhões de cidadãos com uma conta digital na plataforma. Tais resultados atraem a atenção de representantes de diversos países e de estudiosos dispostos a entender quais medidas foram adotadas pela administração pública brasileira e quais foram seus impactos.

Neste capítulo busca-se analisar a evolução da política de governo eletrônico/digital no país, bem como fazer o estudo de caso da implantação da plataforma gov.br e da evolução da maturidade do Brasil nessa agenda. A seção 2 apresenta uma revisão bibliográfica do histórico das fases de adoção de tecnologias digitais pelos governos, de *frameworks* de políticas de governo digital e de índices utilizados para medir a maturidade dos países na adoção dos mesmos. A seção 3 apresenta o histórico da implantação do governo eletrônico/digital no Brasil, bem como o estudo de caso da execução da Estratégia de Governo Digital (EGD) 2020-2022 e a da implantação da plataforma gov.br, além da avaliação dos resultados do país nos índices internacionais sobre o tema e de *gaps* da política atual. A seção 4 apresenta a conclusão sobre a evolução da maturidade da política de governo digital no país, bem como propostas para aprimoramento da política pública.

2 HISTÓRICO DA ADOÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO POR GOVERNOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE *FRAMEWORKS* E ÍNDICES DE GOVERNO ELETRÔNICO/DIGITAL

O início da adoção de tecnologias digitais em governo foi marcado pela implementação dos centros de processamento de dados e pelo foco interno do desenho de processos, buscando organizar os principais cadastros e automatizar os principais cálculos necessários para arrecadar impostos e pagar benefícios, principalmente. Fora isso, os processos eram essencialmente analógicos, as bases de dados eram distribuídas e não integradas entre os órgãos de governo.

Com o advento da internet e, principalmente com a chamada Web 2.0, que permitiu a interação do cidadão com serviços na internet, começou a haver esforços de aumento da transparência com a disponibilização proativa de dados governamentais na internet, bem como a possibilidade de receber solicitações de cidadãos pelo meio eletrônico, dando início à abordagem de prestação de serviços centrada no usuário. Os processos internos de processamento de tais solicitações também começaram a ter mais suporte das tecnologias da informação e comunicações (TIC) e a eliminar o papel, mas eram desenhados com pensamento analógico, levando ainda a grandes tempos de retorno ao usuário, apesar do importante aumento da eficiência. A dificuldade de se identificar o cidadão no meio digital também imputava a ele uma carga grande de esforço de fornecimento de dados e documentos no momento da solicitação.

A Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) constituiu em três fases a adoção de tecnologias digitais em governo, conforme pode ser observado na figura 1.

FIGURA 1
A transição para o governo digital

Fonte: OECD (2020a).

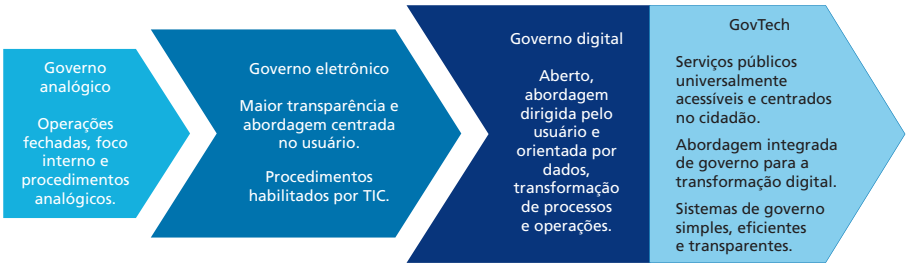
Para a OECD (2020a), o governo digital representa a evolução do governo eletrônico com o objetivo de mudar de uma abordagem centrada na eficiência para uma abordagem mais aberta, colaborativa e inovadora de governo. Nesse novo paradigma, os serviços digitais são desenhados considerando as necessidades e dores do cidadão, e as decisões de política pública são orientadas por dados,

tendo a participação social e a transparência como premissas. A atuação do governo passa a se dar como plataforma, permitindo uma abordagem integrada dos órgãos públicos e facilitando a cocriação de serviços proativos e personalizados, inclusive com a participação do setor não governamental.

Em 2021, o Banco Mundial publicou o estudo *GovTech Maturity Index: the state of public sector digital transformation* (World Bank, 2021), no qual propõe, como uma evolução dos ciclos apresentados pela OCDE, uma nova fronteira para a fase de governo digital, denominada GovTech. Para o Banco Mundial, a GovTech representa uma abordagem integrada de modernização que promove um governo simples, eficiente e transparente, colocando o cidadão no centro do processo de transformação. Na visão da instituição, essa abordagem considera também o uso das tecnologias disruptivas, incluindo inteligência artificial (IA), computação em nuvem e internet das coisas; entrega de plataformas que facilitem o uso de dados públicos pela sociedade; ecossistemas de GovTech que estimulem e suportem empreendedores e *startups* que desenvolvam soluções para governo; e maior uso de parcerias público-privadas para desenhar soluções inovadoras e viabilizar investimentos para resolver desafios públicos (figura 2).

Os três principais *frameworks* sobre governo eletrônico/digital e seus respectivos índices de avaliação da maturidade na temática são apresentados no quadro 1.

FIGURA 2
Abordagem GovTech para a transformação digital do governo



Fonte: OECD (2020a) e World Bank (2021).

QUADRO 1
Principais *frameworks* sobre governo eletrônico/digital e respectivos índices

Instituição	*Framework*	Índice de avaliação
OCDE	*Framework* para a política de governo digital	Índice de Governo Digital (Digital Government Index – DGI)
ONU	*Framework* integrado para governo eletrônico	Índice de Desenvolvimento em Governo Eletrônico (Electronic Government Development Index – EGDI)
Banco Mundial	GovTech	Índice de Maturidade em GovTech (GovTech Maturity Index – GTMI)

Elaboração do autor.

2.1 *Framework* para a política de governo digital da OCDE

Desde 2000, o Comitê para Governança Pública da OCDE desenvolve estudos, análise e coleta de dados sobre o uso de tecnologia em governo. Em 2003, a organização publicou o estudo *The e-Government Imperative* (OECD, 2003), que trouxe um referencial conceitual e de planejamento para a implantação de uma agenda de governo eletrônico nos países. Após outros estudos, em 2011, a organização publicou *M-Government: mobile technologies for responsive governmentes e connected societies* (OECD e ITU, 2011), que foi considerado uma evolução do conceito de governo eletrônico, na medida em que a sociedade adotava cada vez mais as tecnologias móveis, caracterizando uma nova onda no uso das TICs no setor público. Foi adotado, então, pela primeira vez o termo *governo digital* na sua recomendação do Conselho para EGDs (OECD, 2014), sendo o primeiro instrumento legal internacional com essa nova abordagem sobre a temática de uso de TICs em governo. Em 2019, a instituição publicou o estudo *State of the Art in the Use of Emerging Technologies in the Public Sector* (OECD, 2019), que destacou as principais oportunidades e desafios no uso de tecnologias emergentes, em especial as digitais, no setor público. Destaque especial foi dado às tecnologias IA e *blockchain*.[2] Em 2020, o organismo internacional lançou o seu *framework* para a política de governo digital (OECD, 2020b), com o objetivo de ajudar os governos a identificar as abordagens-chave para desenho e implementação efetivos de estratégicas de transição para a maturidade digital.

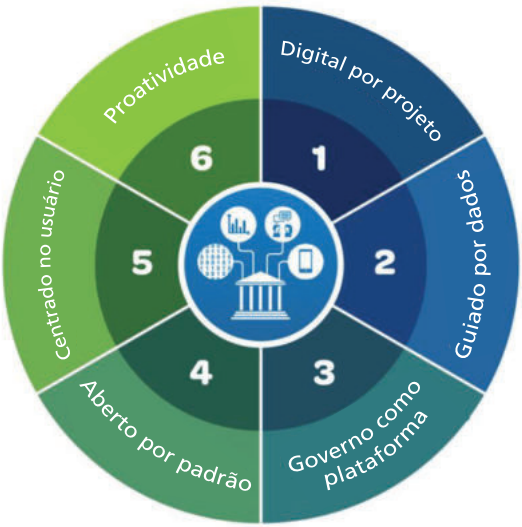
A aplicação experimental da metodologia na avaliação de países e o desenvolvimento de uma pesquisa sobre governo digital levaram a OCDE a categorizar seis dimensões complementares entre si (figura 3). Quatro das dimensões são classificadas como elementos fundacionais de governo digital e duas como transformacionais, conforme a seguir.

1) Dimensões fundacionais:
    a) digital por projeto;
    b) guiado por dados;
    c) governo como plataforma; e
    d) aberto por padrão.
2) Dimensões transformacionais:
    a) centrado no usuário; e
    b) proativo.

2. *Blockchain* é uma tecnologia que habilita o compartilhamento seguro de informações em uma rede de participantes, por meio de técnicas avançadas de criptografia. Esse tipo de rede distribuída permite o permanente, imutável e transparente registro de dados e transações, estando esses registros atualizados para todos os participantes ao mesmo tempo. O *bitcoin* é uma das aplicações mais conhecidas dessa tecnologia.

Para OECD (2020b), um governo que é *digital por projeto* estabelece uma liderança organizacional clara, combinada com mecanismos eficazes de coordenação e aplicação, em que o digital é considerado não apenas uma questão técnica mas um elemento de inovação e transformação a ser incorporado em todos os processos políticos. Dessa forma, as soluções digitais devem ser consideradas como habilitadoras das políticas públicas e integradas ao longo do seu ciclo de vida. Os modelos institucionais também devem considerar a facilitação da transformação digital e prever mecanismos de coordenação e integridade apoiados pelo nível político. O desenvolvimento de competências digitais e de uma cultura de inovação também é chave nessa dimensão.

FIGURA 3
O *framework* da política de governo digital da OCDE



Fonte: OECD (2020b).
Elaboração do autor.

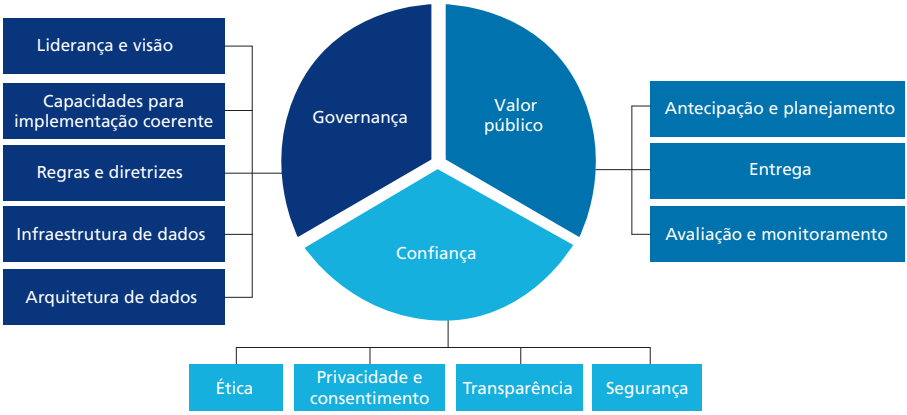
Quanto à dimensão de ser orientado por dados, a metodologia recomenda que o governo reconheça e tome medidas para governar os dados como um ativo estratégico fundamental para a geração de valor público por meio de sua aplicação no planejamento, na entrega e no monitoramento das políticas públicas, adotando regras e princípios éticos para sua reutilização confiável e segura. A OECD (2020b) indica doze facetas para um setor público guiado por dados (figura 4).

Na dimensão de governo como plataforma, o organismo defende uma nova abordagem para atender às necessidades dos usuários, fornecendo fontes claras e transparentes de diretrizes, ferramentas, dados e *software* que instrumentalizam as equipes para o fornecimento de serviços orientados ao usuário,

em larga escala, consistentes, contínuos, integrados, proativos e intersetoriais. Segundo a OCDE (2020b), são estes os três possíveis modelos para essa dimensão, não mutuamente exclusivos:

- ecossistema que suporta as necessidades das equipes de desenho de serviços;
- um *marketplace* de serviços públicos; e
- nova abordagem para o relacionamento entre o Estado e o cidadão.

FIGURA 4
As doze facetas de um setor público guiado por dados



Fonte: OECD (2020b).
Elaboração do autor.

Sobre a dimensão de aberto por padrão, a OCDE define que um governo é assim considerado quando disponibiliza dados e processos decisórios de formulação de políticas – incluindo algoritmos – para o engajamento e contribuição pelo público, dentro dos limites da legislação existente e em equilíbrio com o interesse nacional e público. Essa dimensão enfatiza o uso proativo das tecnologias digitais pelos governos para habilitar maior responsividade, inclusão, *accountability* e agilidade nas organizações do setor público.

Quanto à centralidade no usuário, na visão da OCDE, um governo torna-se centrado no usuário ao atribuir um papel central às necessidades e conveniências das pessoas na formulação de processos, serviços e políticas, bem como adotando mecanismos inclusivos para que isso aconteça. Os elementos-chave para esse tipo de abordagem são:

- engajamento do cidadão por padrão;
- aprendizado;

- acessibilidade e inclusão;
- talento e liderança;
- desenho e entrega de serviços; e
- ligação com as outras dimensões.

Por fim, a OCDE defende que a dimensão da proatividade representa a capacidade dos governos e dos funcionários públicos de antecipar as necessidades das pessoas e responder a elas rapidamente, para que os usuários não tenham que se envolver com o complicado processo de entrega de dados e serviços.

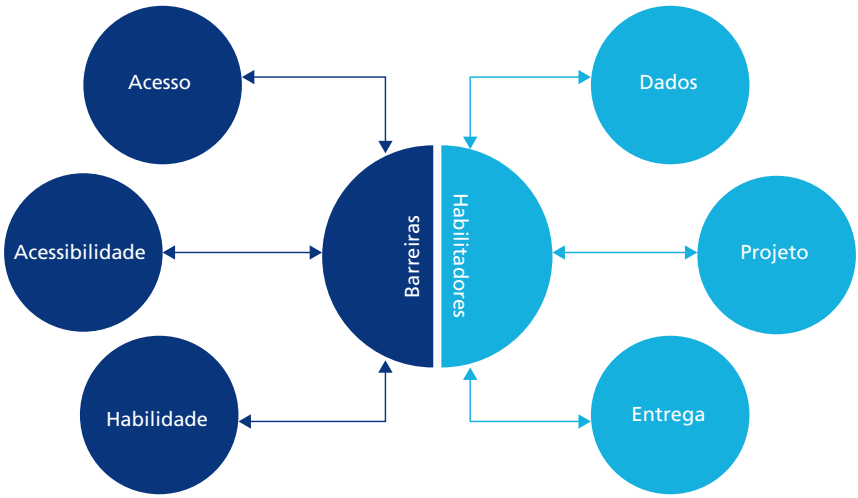
Para medir a aderência dos países-membros e convidados, a OCDE criou o DGI que foi divulgado em 2020, associado ao lançamento do *framework* mencionado. Além do seu índice agregado, a OCDE divulga também o resultado de cada país, em termos absolutos e em termos de posição no *ranking*, para cada uma das seis dimensões abordadas anteriormente.

2.2 *Framework* integrado para governo eletrônico da ONU

A ONU é outra instituição que estuda o tema do governo eletrônico há pelo menos duas décadas. Sua Divisão de Economia e Administração Pública (United Nations Division for Public Economics and Public Administration – UNDPEPA), em conjunto com a Sociedade Americana de Administração Pública (American Society for Public Administration – Aspa), realizou em 2001 uma pesquisa analisando a abordagem, o progresso e o compromisso dos 190 Estados-membros da organização sobre a temática, com o objetivo principal de apresentar objetivamente fatos e conclusões que definiam o ambiente de governo eletrônico de um país e demonstrar sua capacidade de sustentar o desenvolvimento *online*. Foram utilizados indicadores fundamentais de TIC e medidas críticas de capital humano para cada Estado-membro da ONU, promovendo uma análise comparativa entre eles. Dessa análise, foi elaborado o EGDI, visando ser uma ferramenta útil para planejadores de políticas como referência anual. No seu último relatório do EGDI, a ONU apresentou o seu *framework* atualizado (United Nations, 2022), que suporta a elaboração do estudo, conforme a figura 5.

Diferentemente da OCDE, a ONU avalia não apenas o lado da oferta de serviços e políticas públicas mas também o lado da demanda, procurando entender se a população tem o acesso, a competência e as condições de acessibilidade para utilizar as tecnologias digitais em sua plenitude.

FIGURA 5
O *framework* integrado para governo eletrônico da ONU



Fonte: United Nations (2022).
Elaboração do autor.

O EGDI é composto de três dimensões de governo eletrônico, avaliando o eixo de elementos habilitadores para a provisão de serviços digitais (dados, projeto e entrega) e o eixo de barreiras, associado a elementos que podem restringir a demanda ou o acesso aos serviços ofertados (acesso, acessibilidade e habilidade). Para medir essas dimensões, foram criados três subíndices, conforme a seguir.

1) Índice de Serviços Online (Online Service Index – OSI), que é composto pelos seguintes subíndices próprios:
   a) Framework Institucional (Institutional Framework – IF);
   b) Provisão de Serviços (Service Provision – SP);
   c) Provisão de Conteúdo (Content Provision – CP);
   d) Tecnologia (Technology – TEC); e
   e) Participação Eletrônica (Electronic Participation Index – EPI).
2) Índice de Infraestrutura de Telecomunicações (Telecommunication Infrastructure Index – TII), que avalia a proporção de usuários de internet, bem como a penetração do uso de celular, de banda larga fixa e banda larga móvel no país.
3) Índice de Capital Humano (Human Capital Index – HCI), que avalia a expectativa de anos de estudo escolar, a média de anos de estudo, a taxa bruta de matrícula e a taxa de alfabetização de adultos.

O EPI é também derivado à parte, como um índice suplementar da pesquisa da ONU.

Além do índice geral EGDI, a ONU divulga o *ranking* dos países apenas para o OSI e o EPI. Para esses e os demais, é publicado apenas o valor do índice em si. Importante ainda mencionar que os países, dependendo dos seus resultados, são classificados nos grupos: muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo.

2.3 *Framework* GovTech do Banco Mundial

O Banco Mundial também apresenta um *framework* para uso das TICs em governo, que a instituição chamou de GovTech. A iniciativa da instituição na área começou com a elaboração, pelo Comitê de Desenvolvimento do Grupo Banco Mundial, do documento Tecnologias Disruptivas e o Grupo Banco Mundial: Criando Oportunidades, Mitigando Riscos, preparado para a reunião do Comitê de Desenvolvimento, em outubro de 2018. O estudo reconheceu que as tecnologias de rápida difusão estavam convergindo para interromper os caminhos tradicionais de desenvolvimento e que as transformações econômicas e sociais provocadas por tecnologias disruptivas poderiam acelerar drasticamente o progresso para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e para acabar com a pobreza extrema, impulsionando a prosperidade compartilhada.

Na visão do Banco Mundial, GovTech é uma abordagem integrada de governo para a modernização do setor público, que promove um governo simples, eficiente e transparente com os cidadãos no centro das reformas (World Bank, 2021). Segundo a instituição, como as pesquisas e índices até então publicados sobre a temática de governo digital ainda não haviam capturado o progresso em todas as áreas-chave do modelo GovTech numa base de dados global confiável, foi desenvolvido um novo índice, que possui quatro áreas de foco, conforme descrito adiante.

1) Sistemas estruturantes de governo: concentra-se na melhoria dos sistemas de gestão financeira pública, gestão de recursos humanos, administração tributária, compras públicas e gestão de investimentos públicos. Como parte de uma abordagem integrada de governo, essas intervenções incluem o desenvolvimento de uma estratégia abrangente de transformação digital e um conjunto de princípios para promover o uso eficaz de plataformas digitais e dados que sejam interoperáveis e seguros.

2) Entrega de serviços: projetos de serviços *online* centrados no ser humano para que sejam simples, transparentes e universalmente acessíveis. É dada especial atenção aos serviços acessíveis por meio de soluções digitais de baixo custo, como *smartphones* e aplicações gratuitas de código aberto, adaptadas à competência digital e que cheguem a todos os beneficiários e utilizadores pretendidos.

3) Engajamento do cidadão: inclui *feedback* dos cidadãos e mecanismos de tratamento de reclamações. Podem ser desenvolvidas e implantadas em países de alta e baixa conectividade, usando tecnologia simples e aplicativos gratuitos de código aberto. As atividades se concentram no uso de ferramentas de prestação de contas, como cartas de serviço e padrões de serviço com mecanismos de fiscalização e monitoramento e o uso de tecnologia, a fim de promover os esforços dos governos para alcançar maior transparência.

4) Habilitadores de GovTech: são os impulsionadores transversais da agenda de transformação digital. Eles incluem habilidades digitais no setor público, um regime legal e regulatório apropriado e propício, instituições fortes, capacitadoras e protetoras, além de um ambiente que promove a inovação no setor público. Regulamentações eficazes, habilidades técnicas aprimoradas e instituições responsáveis são complementos. Os principais fundamentos da conectividade com a internet, dos sistemas de identificação robustos, da assinatura digital e outras dimensões importantes também estão incluídos neste componente.

Um diagrama simplificado do *framework* é apresentado na figura 6.

FIGURA 6
Diagrama simplificado do *framework* GovTech

Fonte: World Bank. Disponível em: https://twitter.com/wbg_gov/status/1510663468298514435.
Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Para mensurar a maturidade dos países à luz do seu *framework*, o Banco Mundial criou o GTMI, divulgado pela primeira vez em 2021, com dados referentes a 2020. Em 2022, o banco divulgou a mais recente atualização do índice, que é composto dos seguintes subíndices, em linha com o *framework*:

- Sistemas Estruturantes de Governo (Core Government Systems Index – CGSI);
- Entrega de Serviços Públicos (Public Service Delivery Index – PSDI);
- Engajamento do Cidadão (Digital Citizen Engagement Index – DCEI); e
- Habilitadores de GovTech (GovTech Enablers Index – GTEI).

Na seção 4, serão apresentados os resultados do Brasil em cada um desses estudos.

3 HISTÓRICO DE IMPLANTAÇÃO DO GOVERNO ELETRÔNICO/DIGITAL NO BRASIL E ESTUDO DE CASO DA IMPLANTAÇÃO DA PLATAFORMA GOV.BR

Esta seção segue um método de estudo de caso, conforme proposto por Yin (2009). Os estudos de caso têm sido usados para contribuir com o conhecimento de fenômenos individuais, grupais, organizacionais, sociais ou políticos. As questões de pesquisa do estudo de caso da execução da EGD e da implantação da plataforma gov.br, bem como a evolução da maturidade em governo digital no país, são: como a estratégia foi desenhada e a plataforma foi implantada; e quais os seus impactos em termos de elevação da maturidade do país na temática. Não requer controle de comportamento, focando em eventos contemporâneos. Portanto, um estudo de caso é a metodologia apropriada a ser adotada. Foram utilizadas diversas fontes de evidência, como literatura, estudos, relatórios e notícias sobre o tema.

Segundo a Secretaria de Governo Digital (SGD),[3] o Programa de Governo Eletrônico do Estado Brasileiro surgiu no ano 2000, quando foi criado, por meio do Decreto Presidencial de 3 de abril de 2000, o Grupo de Trabalho Interministerial em Tecnologia da Informação (GTTI), com a finalidade de examinar e propor políticas, diretrizes e normas relacionadas às novas formas eletrônicas de interação. As ações desse grupo foram formalizadas pela Portaria da Casa Civil nº 23, de 12 de maio de 2000, e incorporadas no mesmo ano às metas do programa Sociedade da Informação, coordenado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, com ações voltadas ao fortalecimento da competitividade da economia e à ampliação do acesso da população aos benefícios gerados pelas TICs.

3. Disponível em: https://www.gov.br/governodigital/pt-br/estrategia-de-governanca-digital/do-eletronico-ao-digital. Acesso em: 25 abr. 2023.

O trabalho do GTTI concentrou esforços em três linhas:

- universalização de serviços;
- governo ao alcance de todos; e
- infraestrutura avançada.

Desde essa época, o Brasil mantém um importante histórico de implementação de medidas estruturantes no tocante à utilização das TICs em governo. A OECD, no seu *peer review* sobre governo digital no Brasil, apresentou na forma de uma linha do tempo a jornada de evolução do país na temática do governo eletrônico/digital, desde 2000 até 2018, elencando os mais importantes avanços (figura 7).

FIGURA 7
Evolução brasileira em governo eletrônico/digital

Fonte: OECD (2018).
Elaboração do autor.

Como pode ser visto na representação gráfica, em 2018 o Brasil já tinha um importante histórico de implementação de medidas estruturantes adotadas. Em OECD (2018), o organismo afirmou que a digitalização da economia brasileira progrediu muito intensamente naquela última década, e a intenção do estudo foi traçar recomendações para assistir ao país no aprimoramento da política pública de governo digital, considerando a mudança da visão de governo eletrônico para digital e considerando o disposto no documento de recomendação sobre estratégias de governo digital (OECD, 2014).

Com o intuito de dar complemento à jornada brasileira para o governo eletrônico/digital consolidada pela OCDE até meados de 2018, o quadro 2 consolida a série de aprimoramentos legais, normativos e estruturantes ocorridos a partir da instituição da Estratégia Brasileira para a Transformação Digital (e-Digital) de 2018.

QUADRO 2
Principais aprimoramentos legais, normativos e estruturantes afetos à temática de governo digital editados a partir da e-Digital (2018-2022)

Ano	Mês	Ato	Assunto
2018	Março	Decreto nº 9.319	Instituiu o Sistema Nacional para a Transformação Digital e estabeleceu a estrutura de governança para a implantação da e-Digital.
	Agosto	Lei nº 13.709	Sanção da Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), que consolidou as balizas para a proteção à privacidade e aos dados pessoais no Brasil. A lei entrou em vigor em agosto de 2020.
	Dezembro	Decreto nº 9.637	Instituiu a Política Nacional de Segurança da Informação (PNSI), que abrange a segurança cibernética, a defesa cibernética, a segurança física e a proteção de dados organizacionais.
2019	Janeiro	Decreto nº 9.679	Criou a SGD no Ministério da Economia (ME). Como principais mudanças de atribuições em relação à antiga Secretaria de Tecnologia da Informação e Comunicação (Setic), se destacam: • a desvinculação de atividades de órgão setorial, concentrando esforços nas atribuições de órgão central do Sistema de Administração dos Recursos de Tecnologia da Informação (Sisp) e na transformação digital do governo; • atuação conjunta com a Presidência da República na definição de diretrizes, normatização e coordenação de projetos nos temas de simplificação de serviços e políticas públicas, transformação digital de serviços públicos, utilização de canais digitais e governança e compartilhamento de dados; • inclusão da atribuição de apoio a ações de fomento à segurança da informação e proteção a dados pessoais, em articulação com os órgãos responsáveis por essas políticas; • coordenação da Rede GOV.BR; e • edição da EGD.
	Janeiro	Decreto nº 9.670	Criou a Secretaria Especial de Modernização do Estado no âmbito da Secretaria Geral da Presidência da República, trazendo as atribuições de apoio à implementação do projeto de governo digital e à difusão de soluções inovadoras para a gestão pública.

(Continua)

(Continuação)

Ano	Mês	Ato	Assunto
2019	Abril	Decreto nº 9.756	Instituiu a plataforma gov.br, com o principal objetivo de reunir em um só lugar serviços para o cidadão e informações sobre a atuação do governo federal, no modelo *one-stop shop*. A norma também tratou da organização dos registros de domínios gov.br e disponibilização de aplicativos de governo numa loja única.
	Abril	Portaria SGD nº 23	Institucionalizou a Rede Nacional de Governo Digital (Rede GOV.BR), plataforma de natureza colaborativa, que tem como finalidade promover a colaboração, o intercâmbio, a articulação e a criação de iniciativas inovadoras relacionadas à temática de governo digital no setor público com demais entes federativos.
	Abril	Instruções Normativas SGD nº 01 e nº 02	Definiu novo modelo para aquisições de bens e serviços de tecnologia pelo Poder Executivo federal, que simplificaram procedimentos e buscaram assegurar a priorização da melhoria dos serviços ao cidadão, aprimorando a eficácia dos investimentos no setor de TIC.
	Setembro	Lei nº 13.874	Declaração de Direitos de Liberdade Econômica, que consolidou princípios que, entre outros pontos, contribuíram para a simplificação e a desburocratização de serviços públicos associados à liberação de atividade econômica de diversos setores.
	Outubro	Decreto nº 10.046	Alterou a regulamentação sobre governança no compartilhamento de dados no âmbito da administração pública federal, bem como instituiu o Cadastro Base do Cidadão e o Comitê Central de Governança de Dados.
	Dezembro	Decreto nº 10.160	Instituiu a Política Nacional de Governo Aberto e o Comitê Interministerial de Governo Aberto.
	Dezembro	Decreto nº 10.178	Regulamentou a Lei de Liberdade Econômica, introduzindo a classificação de risco de atividade econômica e a dispensa de atos de liberação para atividades de risco leve, irrelevante ou inexistente, medida essencial para a redução nos tempos médios de abertura de empresas no país, entre outros serviços públicos.
2020	Fevereiro	Decreto nº 10.222	Aprovou a Estratégia Nacional de Segurança Cibernética, que estabelece ações com vistas a modificar, de forma cooperativa e em âmbito nacional, características que refletem o posicionamento de instituições e de indivíduos sobre o assunto.
	Abril	Decreto nº 10.332	Instituiu a EGD 2020-2022, construída ao longo de 2019, de forma participativa, organizada em seis princípios, dezoito objetivos e 58 iniciativas que nortearam o Sisp do governo federal para a transformação do governo por meio de tecnologias digitais.
	Julho	Portaria SEDGG nº 16.017	Autorizou a realização de concurso por tempo determinado para contratar 350 profissionais para atuar em projetos de transformação digital de serviços públicos.
	Agosto	Resolução BCB/DC nº 1	Instituiu o arranjo de pagamentos Pix e aprovou o seu regulamento. O serviço entrou em operação em novembro de 2020, permitindo que recursos sejam transferidos entre contas em poucos segundos, a qualquer hora ou dia, com utilização gratuita para pessoas físicas.
	Setembro	Lei nº 14.063	Dispõe sobre o uso de assinaturas eletrônicas em interações com entes públicos. O documento com a assinatura digital passou a ter a mesma validade de um documento com assinatura física.
	Novembro	Decreto nº 10.543	Regulamentou a assinatura eletrônica no Poder Executivo federal, viabilizando o uso da assinatura eletrônica avançada gov.br para diversos procedimentos.
	Novembro	Instrução Normativa SGD nº 117	Dispõe sobre a indicação do encarregado pelo tratamento dos dados pessoais no âmbito da administração pública federal.

(Continua)

(Continuação)

Ano	Mês	Ato	Assunto
2021	Março	Portaria SGD nº 2.496	Instituiu o Programa Startup gov.br para alocação de força de trabalho contratada por meio do concurso para servidores temporários, para atuar em projetos estratégicos de transformação digital de serviços públicos.
	Março	Lei nº 14.129	Lei de Governo Digital, que consolidou os princípios, as regras e os instrumentos para o governo digital e para o aumento da eficiência pública para toda a administração pública.
	Junho	Lei Complementar nº 182	Marco Legal das Startups e do empreendedorismo inovador. A lei traz um capítulo que trata da contratação de soluções inovadoras pelo Estado para resolver demandas públicas que exijam solução inovadora com emprego de tecnologia, bem como de promover a inovação no setor produtivo por meio do uso do poder de compra do Estado. Nesse contexto, criou uma modalidade de licitação especial para o teste de soluções inovadoras, podendo o escopo da licitação restringir-se à indicação do problema a ser resolvido e dos resultados esperados pela administração pública.
	Dezembro	Decreto nº 10.900	Dispõe sobre o serviço de identificação do cidadão sobre a plataforma gov.br e a governança da identificação das pessoas naturais no âmbito da administração pública federal.
	Dezembro	Nota Técnica SGD/ME nº 10.726 e Ofício Circular SEI nº 3574/2021/ME	Instituiu o Programa de Privacidade e Segurança da Informação (PPSI), constituído por um conjunto de ações de adequação nas áreas de privacidade e segurança da informação organizados em cinco torres, com o propósito de elevar o grau de maturidade dos órgãos e das entidades do Sisp na temática. As iniciativas inicialmente foram concentradas em 57 órgãos federais com sistemas críticos de governo, seguindo classificação do Tribunal de Contas da União (TCU). Tais órgãos receberam ofício circular com nota técnica caracterizando o programa e dando início à conformação da governança interna para o tema, a realização de diagnóstico e elaboração de plano de ação.
2022	Janeiro	Portaria SGD nº 548	Instituiu o modelo de qualidade para serviços públicos, regulamentando a avaliação de satisfação dos usuários e estabelecendo padrões de qualidade dos serviços digitais no âmbito do Poder Executivo federal. A portaria previu a publicação de *rankings* de qualidade de serviços e órgãos, de acordo com a avaliação dos usuários, bem como autoavaliação do padrão de qualidade dos serviços. Em novembro do mesmo ano, a SGD divulgou a central de qualidade de serviços e publicou para a sociedade os primeiros *rankings* de serviços e órgãos.
	Fevereiro	Decreto nº 10.977	Criou a Carteira de Identidade Nacional (CIN), adotando o Cadastro de Pessoa Física (CPF) como único número de Registro Geral (RG) em todo o país e regulamentou procedimentos e requisitos para a expedição da CIN por órgãos de identificação dos estados e do Distrito Federal. A medida criou também a via digital gratuita da carteira de identidade nacional acessada no gov.br, além da versão física. Em julho de 2022, começaram a ser emitidas as novas carteiras.
	Março	Decreto nº 10.996	Alterou a EGD incluindo novas iniciativas de fomento ao ecossistema de GovTechs e disseminação das novidades do Marco Legal das Startups, entre outros pontos.
	Abril	Não se aplica	Lançamento[1] da plataforma da Rede GOV.BR[2] pela SGD, Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), que automatizaram a adesão de municípios à rede e oferecem aos gestores municipais ferramentas de autodiagnóstico, construção de planos de ação baseados em boas práticas e elaboração de pré-projetos de financiamento desses planos, para acelerar a transformação digital.
	Maio	Portaria SGD nº 5.651	Novo modelo de contratação de serviços de desenvolvimento de *software*, incentivando o uso da abordagem de desenvolvimento ágil de soluções de governo digital na administração pública federal.
	Julho	Não se aplica	Publicação do *peer review* OCDE sobre governo aberto pelo organismo internacional e a Controladoria-Geral da União (CGU).

(Continua)

(Continuação)

Ano	Mês	Ato	Assunto
2022	Agosto	Edital Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)/Financiadora de Estudos e Projeto (Finep)/Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT)/ME/Escola Nacional de Administração Pública (Enap), nº 16/2022	Edital de seleção pública Soluções de IA para o Poder Público – Rodada 1[3] para apoio a projetos de *startups* GovTechs de soluções baseadas em IA para aplicações em desafios de entidades do poder público federal, com recursos de R$ 36 milhões de subvenção econômica (não reembolsáveis) e modelo de licitação especial previsto no Marco Legal das Startups. As duas rodadas previam até R$ 80 milhões para resolver até trinta desafios.
	Agosto	Não se aplica	Publicado[4] o mapa de governo digital 2022, que traz um panorama da evolução da maturidade digital dos municípios brasileiros. O estudo foi realizado pelo Banco de Desenvolvimento da América Latina (Corporación Andina de Fomento – CAF), em parceria com a SGD.
	Novembro	Decreto nº 11.266	Alterou a composição do Comitê Central de Governança de Dados, conferindo-lhe mais independência e representatividade, além de reforçar a proteção aos dados pessoais dos cidadãos no compartilhamento de dados na administração pública federal.
	Novembro	Decreto nº 11.260	Estabeleceu as diretrizes para a elaboração da Estratégia Nacional de Governo Digital, definindo o prazo para sua consolidação, a ser construída de forma colaborativa com estados e municípios, e prorrogou a EGD até 2023, de forma a sincronizá-la com o plano plurianual.
	Dezembro	Não se aplica	Lançado,[5] no âmbito do PPSI, o Centro Integrado de Segurança Cibernética do Governo Digital (Cisc gov.br), em parceria com o BID e a Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP), com a missão de fazer a coordenação operacional das ações de prevenção, tratamento e resposta a incidentes cibernéticos dos 238 órgãos federais pertencentes ao Sisp.
	Dezembro	Instrução Normativa SGD nº 94	Regulamentação do processo de compras de TIC para os órgãos e entidades do Sisp, adequando-o à nova lei de licitações.

Elaboração do autor.
Notas: [1] Disponível em: https://redenacionalderadio.ebc.com.br/programas/e-noticia/27-04-22-e-noticia-america-melo-plataforma-rede.mp3/view. Acesso em: 3 maio 2023.
[2] Disponível em: https://plataforma.rede.gov.br/. Acesso em: 3 maio 2023.
[3] Disponível em: http://www.finep.gov.br/chamadas-publicas/chamadapublica/705. Acesso em: 28 abr. 2023.
[4] Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=y0gl-Her80M&t=19s. Acesso em: 5 maio 2023.
[5] Disponível em: https://www.gov.br/cisc/pt-br/noticias/centro-integrado-de-seguranca-cibernetica-do-governo-digital--e-lancado-pelo-brasil-em-parceria-com-bid-e-rnp. Acesso em: 28 abr. 2023.

Assim, a figura 8 busca dar sequência à linha do tempo da jornada brasileira rumo ao governo eletrônico/digital, apresentada pela OCDE em 2018, complementando o esquema com a síntese dos maiores avanços ocorridos nessa temática desde a publicação do estudo da organização internacional.

FIGURA 8
Jornada brasileira rumo ao governo eletrônico/digital

Fonte: OECD (2018).
Elaboração do autor.

3.1 Análise dos resultados da implantação da plataforma gov.br

A plataforma gov.br foi instituída em abril de 2019 pelo Decreto nº 9.756 com o principal objetivo de integrar a oferta de serviços do governo federal para a população. O decreto definiu forma, governança e prazos para a integração de portais e aplicativos dos órgãos públicos na internet ao novo portal e à loja única de aplicativos do governo federal, respectivamente. A norma estipulou o prazo de 31 de dezembro de 2020 para os órgãos e entidades da administração pública federal migrarem os conteúdos.

O decreto regulou ainda a organização do registro de domínios gov.br, obrigando, a partir de julho de 2019, a utilização do domínio raiz gov.br, seguido do complemento, para localizar os sítios de governo na internet. Foi definido também o prazo de 31 de dezembro de 2020 para a desativação ou redirecionamento dos

endereços eletrônicos existentes do governo federal. A norma definiu ainda o portal único gov.br como canal exclusivo para as ações de comunicação social e de utilidade pública do governo federal.

De acordo com o balanço de 2022 da SGD elaborado por Fernando André Coelho Mitkiewicz,[4] 177 portais haviam migrado para o gov.br e 624 domínios e endereços de páginas haviam sido consolidados ao final de 2022. A centralização da oferta de informações e serviços do governo federal num único local, no conceito *one-stop shop* levou a audiência à plataforma de cerca de 20 milhões de visualizações ao portal servicos.gov.br em 2018 para 2,2 bilhões de visualizações em 2022.

Mesmo antes da EGD 2020-2022, publicada em abril de 2020, que trouxe a meta de digitalização de 100% dos serviços para todos os órgãos e entidades da administração pública federal, a SGD, em conjunto com a Secretaria Especial de Modernização do Estado da Presidência da República, começou a pactuar em 2019 os Planos de Transformação Digital, com os objetivos de digitalização de serviços, integração de canais e interoperabilidade de dados, inspirados nas recomendações do *peer review* da OCDE. Os primeiros planos pactuados remontam a abril de 2019, como pode ser observado nos casos do Ministério da Infraestrutura[5] e do Instituto Nacional de Seguridade Social (INSS).[6]

Dessa forma, pôde-se observar uma importante evolução no número de serviços digitais ofertados para a população, chegando-se ao número de quatro mil, cento e vinte e nove serviços digitais ao final de 2022 (gráfico 1). Esse número representava um percentual de 87% do total de serviços digitalizáveis.

A SGD definiu, com base em referências internacionais, um modelo de custos de serviços públicos para mensurar o impacto da digitalização de serviços em termos de economia para o cidadão e para o governo. Trata-se de uma adaptação do Standard Cost Model (SCM), ferramenta criada na Holanda na década de 1990 para mensurar encargos administrativos decorrentes de medidas regulatórias impostas por agências estatais que recaem sobre empresas. De acordo com o guia prático do modelo (Brasil, 2022),

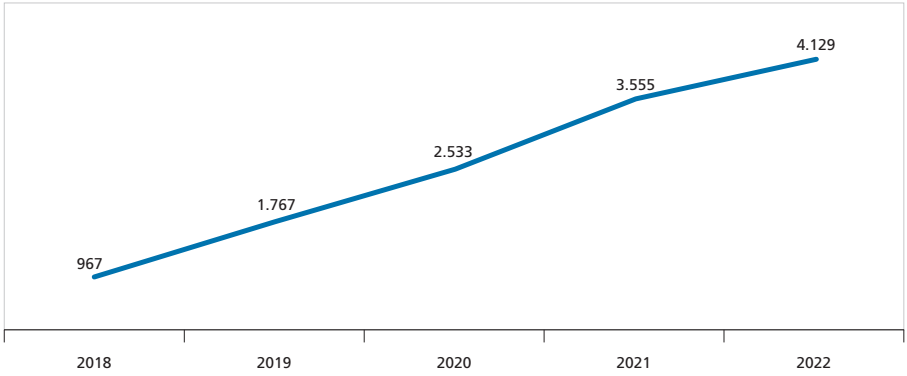
> o modelo de SGD estima os custos do órgão ofertante com a provisão do serviço, os custos dos cidadãos em acessar o serviço e a aferição do investimento necessário para a transformação digital. Ou seja, tem-se um modelo que, em resumo, estima: a) os custos do usuário unitário e do total de usuários antes e depois da transformação; b) os custos do órgão ofertante do serviço antes e depois da transformação; e

4. Disponível em: https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7014983911139127296. Acesso em: 10 maio 2022.
5. Disponível em: https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/noticias/ultimas-noticias/plano-de-transformacao-digital-do-ministerio-da-infraestrutura-facilita-acesso-aos-servicos-publicos-federais-2. Acesso em: 28 abr. 2023.
6. Disponível em: https://portal.dataprev.gov.br/projeto-de-transformacao-digital-do-inss-e-lancado-na-sede-da-dataprev. Acesso em: 28 abr. 2023.

c) o investimento necessário para promover a transformação do serviço. Dessa forma, obtém-se uma mensuração de impacto da transformação digital através da comparação dos custos para o governo e os usuários dos serviços nos cenários antes e depois da digitalização.

Ao final de 2022, a secretaria divulgou um balanço[7] em que apontava uma economia anual de R$ 4,6 bilhões com a digitalização de serviços.

GRÁFICO 1
Número de serviços digitais (2018-2022)



Fonte: Painel de Monitoramento de Serviços Federais. Disponível em: https://www.gov.br/governodigital/pt-br/transformacao--digital/central-de-qualidade/painel-de-monitoramento-de-servicos-federais. Acesso em: 2 jan. 2023.

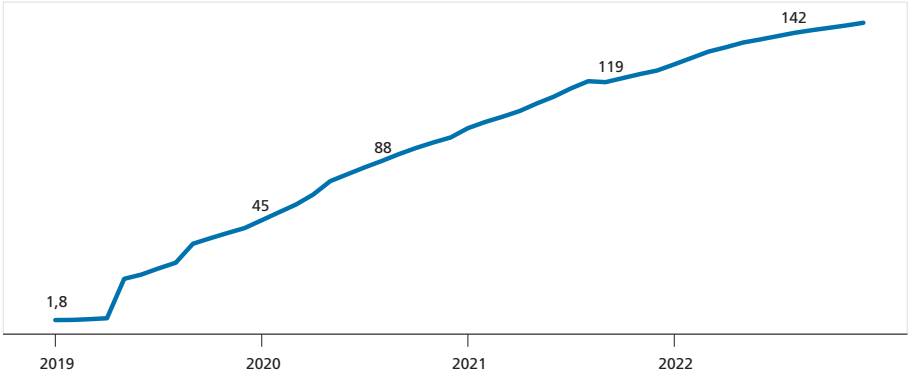
Enquanto os serviços públicos digitais representam o lado da oferta no âmbito da plataforma gov.br, a conta digital gov.br representa o lado da demanda dos cidadãos por esses serviços. A conta gov.br teve sua origem no ordenamento jurídico com o Decreto nº 8.936, de 19 de dezembro de 2016, que instituiu a plataforma de Cidadania Digital e dispôs, em seu art. 3º, inciso II, sobre a oferta dos serviços públicos digitais: "o mecanismo de acesso digital único do usuário aos serviços públicos, com nível de segurança compatível com o grau de exigência, natureza e criticidade dos dados e das informações pertinentes ao serviço público solicitado" (Brasil, 2016).

Tal decreto já definia que os órgãos e as entidades da administração pública federal deveriam adotar o mecanismo de acesso na totalidade dos serviços públicos digitais, porém, não havia uma data taxativa para a conclusão dessa medida. Com a publicação da EGD 2020-2022, em abril de 2020, foi estipulado o dia 30 de junho de 2021 como prazo máximo para adoção do mecanismo, já no contexto da plataforma gov.br. Antes disso, desde 2019 os planos de transformação

7. Disponível em: https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/noticias/2022/dezembro/iniciativas-do-governo-federal-aceleram-transformacao-digital-dos-servicos-publicos. Acesso em: 28 abr. 2023.

digital pactuados com diversos órgãos já traziam o compromisso com a integração de serviços ao *login* único do governo federal, com prioridade para os serviços com maior demanda. Dessa forma, observou-se uma aceleração da integração de serviços, com consequente aumento da criação de contas pelos cidadãos, que fez com que o total de cidadãos cadastrados saísse de cerca de 1,8 milhão em 2018, para cerca de 142 milhões em 31 de dezembro de 2022 (gráfico 2). Em balanço ao final de 2022, foi divulgado que havia mais de 3.700 serviços que ofertavam o *login* gov.br aos seus usuários (Brasil, 2022).

GRÁFICO 2
Número de contas gov.br (2019-2022)
(Em R$ milhões)



Fonte: Retrospectiva 2022 da Secretaria de Governo Digital. Disponível em: https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7014983911139127296. Acesso em: 10 maio 2022.

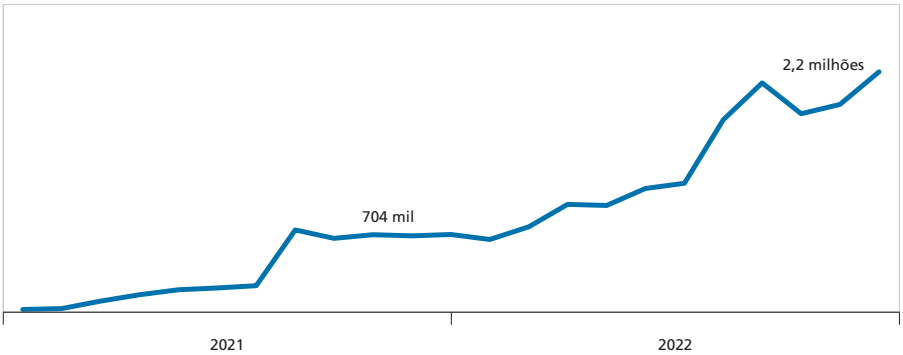
De acordo com Rogers (2017), as plataformas são regidas pelo chamado efeito de rede. O tipo mais comum de efeito de rede em plataformas digitais são os indiretos, ou efeitos de rede de lados opostos, que ocorrem quando um aumento na quantidade e na qualidade dos clientes em um lado da plataforma gera valor crescente para os clientes no outro lado da plataforma. Quando os efeitos de rede indiretos se manifestam nos dois sentidos, eles desencadeiam um círculo virtuoso, com novos clientes em cada lado aumentando a atratividade para o outro lado. Isso proporciona crescimento extremamente rápido e posição de mercado altamente defensável para plataformas como Airbnb ou PayPal, que se tornaram líderes nas respectivas categorias.

No caso do gov.br, é possível considerar que os órgãos federais, que ofertam serviços digitais, são clientes da plataforma. O "outro lado" seria justamente o dos cidadãos que demandam os serviços públicos por meio da plataforma. As curvas de oferta de serviços digitais e de número de contas cadastradas, com elevados ritmos de crescimento no mesmo período, sugerem a existência de tal efeito de

rede na plataforma gov.br. Porém, tendo em vista o monopólio da oferta de serviços públicos e a vinculação da prestação desses serviços à existência da conta pelo cidadão, seria necessário um estudo mais aprofundado para que tal afirmação seja feita de forma taxativa.

Associada diretamente à conta gov.br está a assinatura eletrônica avançada, ou assinatura gov.br, viabilizada pela Lei nº 14.063 e regulamentada no Poder Executivo federal pelo Decreto nº 10.543, ambos de 2020. Essa funcionalidade, lançada por meio de cooperação com o Instituto Nacional de Tecnologia da Informação (ITI), além de permitir sua utilização gratuita pelo cidadão para assinar documentos avulsos, foi integrada a diversos serviços relevantes, como protocolar documentos ao INSS, abrir empresa e transferir veículos, fazendo com que o seu uso ultrapassasse o volume de 2 milhões de assinaturas mensais ao final de 2022 (gráfico 3).

GRÁFICO 3
Número mensal de assinaturas eletrônicas avançadas gov.br (2021-2022)



Fonte: Retrospectiva 2022 da Secretaria de Governo Digital. Disponível em: https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7014983911139127296. Acesso em: 10 maio 2022.

3.2 A execução da EGD

A EGD 2020-2022 foi publicada em abril de 2020, pelo Decreto nº 10.332, em substituição ao conjunto de recomendações anteriormente vigente. O novo regulamento definiu seis princípios, além de governança, instrumentos de planejamento, objetivos e iniciativas, que continham metas de resultados e prazos. A EGD foi atualizada em março de 2022, por meio do Decreto nº 10.996, com a revisão e atualização de iniciativas, com destaque para inclusão de novas ações voltadas para o fomento do ecossistema de GovTech. A última atualização ocorreu por meio do Decreto nº 11.260, de novembro de 2022, que prorrogou a EGD até 2023, sincronizando-a com o plano plurianual, no contexto da construção da nova estratégia nacional de governo digital, a ser construída de forma colaborativa

com os entes subnacionais, cujas diretrizes e o prazo de elaboração foram dados pelo mesmo decreto.

Conforme o painel de indicadores de monitoramento da EGD,[8] a versão vigente da EGD possuía 59 iniciativas, sendo 44 concluídas e 15 em execução. Adiante, serão abordadas as principais iniciativas e os resultados em cada um dos seis princípios estabelecidos.

Um dos princípios da EGD 2020-2023 é que o governo deve ser *centrado no cidadão*. Além da oferta massiva de serviços digitais, isso significa também que os serviços públicos devem ser projetados considerando as necessidades dos seus usuários finais. Assim, a SGD estruturou uma equipe de especialistas em experiência do usuário, que realizou até 2022, em conjunto com diversos órgãos, conforme notícia publicada pelo órgão,[9] 106 pesquisas com mais de 24 mil entrevistados, assim como tomou decisões sobre a plataforma gov.br com base em 837 testes de usabilidade.

Outra medida para envolver o cidadão no desenho de serviços é a captura da sua avaliação sobre os serviços utilizados. Ao final de 2022, havia 835 serviços com oferta de avaliação ao cidadão, e mais de 6 milhões de avaliações haviam sido realizadas, com nota média de 4,30 de um máximo de 5.

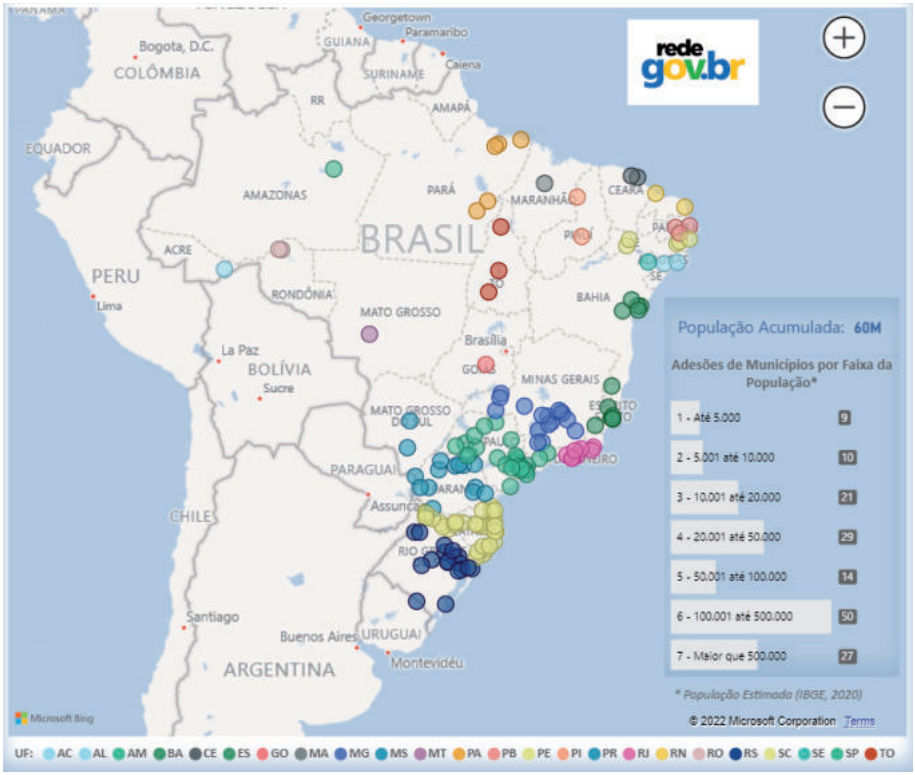
O segundo princípio da EGD é o *governo integrado*. Além da unificação de portais e aplicativos realizada junto aos órgãos do Poder Executivo federal, conforme já abordado, a SGD trabalhou também para ampliar a integração com estados e municípios com a Rede GOV.BR, por meio da qual é ofertada aos entes subnacionais a integração sem custo dos seus serviços às plataformas de autenticação, de assinatura eletrônica e de prova de vida digital, além de capacitação e apoio metodológico. Segundo a SGD, em sua página da Rede Nacional de Governo Digital, ao final de 2022 haviam aderido à rede 24 das 27 Unidades da Federação (UFs), assim como 160 municípios, sendo 18 capitais.[10] A figura 9 apresenta a distribuição geográfica dos municípios que aderiram à Rede GOV.BR até 2022, evidenciando que as regiões Sul e Sudeste tem proporcionalmente mais municípios aderidos, enquanto as regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste tem substancialmente menor proporção de adesão.

8. Disponível em: https://www.gov.br/governodigital/pt-br/sisp/indicadores-da-estrategia-de-governo-digital/. Acesso em: 4 maio 2023.

9. Disponível em: https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/noticias/2022/dezembro/sugestoes-de-usuarios-melhoram-servicos-publicos-no-gov.br. Acesso em: 1º maio 2023.

10. Disponível em: https://www.gov.br/governodigital/pt-br/transformacao-digital/rede-nacional-de-governo-digital. Acesso em: 31 dez. 2022.

FIGURA 9
Municípios com adesão à Rede GOV.BR (2022)



Fonte: Retrospectiva 2022 da Secretaria de Governo Digital. Disponível em: https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7014983911139127296. Acesso em: 10 maio 2022.
Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

O terceiro princípio previsto na EGD orienta que o governo deve ser *inteligente*. Além de fomentar o uso de dados e de tecnologias emergentes ao longo do ciclo de vida das políticas públicas, o compartilhamento de informações entre órgãos públicos foi intensificado por meio do Programa Conectagov, visando reduzir a necessidade de reapresentação de informações pelo cidadão nos diversos pontos de contato dele com órgãos públicos, direito garantido pela Lei nº 13.726/2018 – Simplificação – e pela Lei nº 14.129/2021 – Governo Digital. Ao final de 2022 havia 834 serviços públicos com obtenção automática de informação e 71 interfaces de programação de aplicação (Application Programming Interface – APIs) catalogadas.

O quarto princípio é *confiável*. Nesse âmbito, criou-se a conta gov.br com padrões diferenciados em função do nível de confiabilidade dos processos de

autenticação utilizados. A conta bronze é conferida a cidadãos que realizam apenas validação biográfica; e as contas prata e ouro são conferidas a cidadãos que fazem algum processo de autenticação bancária, biométrica ou com certificação digital. Das 142 milhões de contas registradas ao final de 2022, 52 milhões eram prata ou ouro, que habilitam o cidadão a solicitar serviços como abrir uma empresa, transferir veículos ou ter a sua declaração de Imposto de Renda Pessoa Física pré-preenchida, por exemplo. A SGD editou ainda dezoito guias e modelos de boas práticas para orientar os órgãos públicos federais na adequação à LGPD e na segurança cibernética; criou o PPSI, que estruturou a atuação nessa temática em cinco torres: maturidade, governança, pessoas, processos e tecnologia; e, no âmbito do programa, priorizou 57 órgãos com sistemas críticos e definiu sete controles essenciais de segurança e privacidade, auxiliando os órgãos em sua implementação. Com essa medida, apurou um aumento de 100% nos controles essenciais implantados nos órgãos priorizados em 2022, além de viabilizar o uso de assinaturas digitais gratuitas, tendo chegado a 2,2 milhões de assinaturas mensais ao final desse mesmo ano.

No princípio *transparente e aberto*, o Brasil ampliou a quantidade e a qualidade das bases de dados abertos e aprimorou a plataforma Participa Mais Brasil. A SGD, em parceria com órgãos como a Enap, o MCTI e a Finep, lançou programas visando fomentar o ecossistema de inovação e cocriação de serviços, como o programa de Desafios de IA para o Setor Público, a fim de aplicar R$ 80 milhões em créditos não reembolsáveis para selecionar GovTechs que resolvam problemas públicos, utilizando o novo método de contratação previsto no Marco Legal das Startups.

Por fim, no princípio *eficiente*, a SGD conduziu compras centralizadas para os bens e serviços mais comuns de TIC, gerando economia e racionalização de força de trabalho de TIC, e ampliou o compartilhamento de soluções estruturantes de *software*, como o portal, a conta e a assinatura gov.br, assim como a ferramenta de automação de serviços usando tecnologia *low code*. Ainda, negociou acordos corporativos de redução de preços com os maiores fornecedores de TIC do governo, capacitou mais de 90 mil servidores no programa Capacita gov.br, que oferecia mais de 94 cursos ao final de 2022, além de ter conduzido concurso de temporários para 350 vagas e alocado tal força de trabalho para projetos de transformação digital de serviços públicos por meio do Programa Startup gov.br. Ao todo, no âmbito do Sisp, foram migrados mais de trinta serviços para a nuvem.

3.3 Avaliação da maturidade do Brasil em governo eletrônico/digital com base nos principais índices sobre o tema

Os resultados do Brasil nas últimas versões dos estudos internacionais sobre o tema são apresentados na tabela 1.

O Brasil figurou como o segundo melhor GTMI no relatório 2022 do Banco Mundial, entre 198 economias estudadas, atrás apenas da Coreia do Sul, após ter apresentado o sétimo melhor índice em 2020, divulgado em 2021. A oferta de CGSI (segunda) e as medidas habilitadoras de GovTech (oitava) foram os elementos mais bem avaliados no estudo.

Na apuração da ONU, que estudou 193 países, o Brasil apresentou, em 2022, as melhores posições da série histórica nos *rankings* de OSI e de EPI, ficando em 14º e 11º lugares, respectivamente. Em contraste, no EGDI da ONU, o Brasil figurou na 49ª posição, melhorando em relação a 2020, mas inferior a 2018, quando estava em 44º. O país apresentou a melhor posição histórica no EGDI em 2005, 33º lugar, e a pior em 2010, 61ª colocação. Uma explicação para a queda no índice geral, destoando da melhora no OSI, que ajuda a mensurar o eixo habilitadores, está nos outros dois componentes: o TII e o HCI, que ajudam a medir o eixo barreiras do *framework*. Um dificultador na análise da posição do país é que a ONU não divulga o *ranking* e nem sua evolução para esses dois índices. Se a posição geral do Brasil cai enquanto o OSI sobe, obviamente esses dois outros componentes estão causando perda de posições do país na análise comparativa com o resto do mundo. Quando se analisam os resultados absolutos, o Brasil cresce consistentemente no TII desde 2008, tendo tido o maior aumento entre 2018 e 2020, com acréscimo de 13 pontos percentuais (p.p.). Em 2020, houve mudança na metodologia, retirando a penetração de telefonia fixa da lista de indicadores. Ademais, é importante salientar que o TII é o único subíndice da ONU em que o país não figura no grupo de melhor classificação (muito alto), estando enquadrado no grupo alto. Analisando o HCI, conforme figura 10, o Brasil apresenta melhora subsequente do índice desde 2018, após quedas seguidas entre 2012 e 2016. Importante constatar que houve alteração na composição do indicador em 2014, com a inclusão das medidas de expectativa de anos escolares e média de anos de estudo. A maior alta nesse índice se deu entre 2016 e 2018. Apesar de a ONU não divulgar o *ranking* desses dois índices, fazendo-se uma contagem manual na lista de países no relatório de 2022, o Brasil figurou com o 74º melhor HCI da lista e com o 79º melhor TII, confirmando que esses componentes, que avaliam barreiras à demanda de serviços públicos, são os que puxam o Brasil para baixo na análise comparativa mundial, enquanto o OSI, que avalia a oferta de serviços públicos, traz o Brasil na 14ª posição, a melhor da série histórica.

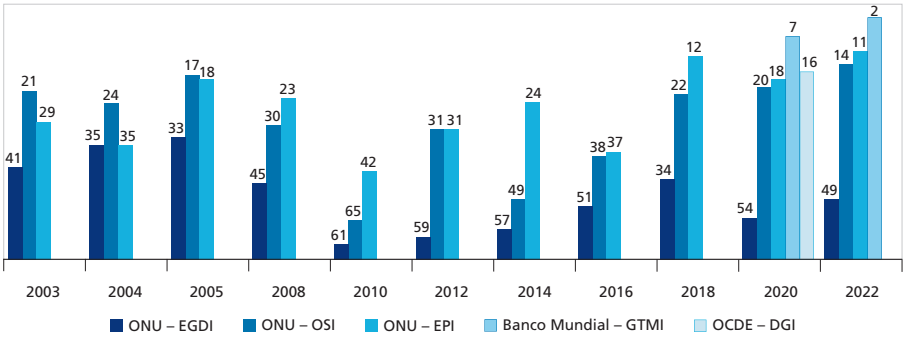
TABELA 1
Resultados do Brasil nos índices de governo eletrônico/digital (2020-2022)

Entidade	Índice	Ano último resultado	Índice-valor	*Ranking*	Grupo
Banco Mundial	GTMI	2022	0,975	2º	Muito alto
	CGSI	2022	0,980	2º	Muito alto
	PSDI	2022	0,969	18º	Muito alto
	DCEI	2022	0,970	9º	Muito alto
	GTEI	2022	0,981	8º	Muito alto
ONU	EGDI	2022	0,791	49º	Muito alto
	OSI	2022	0,896	14º	Muito alto
	EPI	2022	0,897	11º	Muito alto
	TII	2022	0,681	ND	Alto
	HCI	2022	0,795	ND	Muito alto
OCDE	DGI	2020	0,519	16º	Não se aplica
	Digital por projeto	2020	0,540	17º	Não se aplica
	Setor público guiado por dados	2020	0,470	14º	Não se aplica
	Governo como plataforma	2020	0,480	18º	Não se aplica
	Aberto por padrão	2020	0,610	14º	Não se aplica
	Centrado no usuário	2020	0,540	13º	Não se aplica
	Proatividade	2020	0,420	17º	Não se aplica

Fonte: OECD (2020a); World Bank (2022); e United Nations (2022).

O gráfico 4 apresenta a evolução da posição do Brasil nos *rankings* baseados nesses índices.

GRÁFICO 4
Evolução da posição do Brasil nos *rankings* de governo eletrônico/digital (2003-2022)



Fonte: OECD (2020a); World Bank (2022); e United Nations (2022).

FIGURA 10
Dados dos índices e subíndices do Brasil no EGDI-ONU 2022

2022 Brasil	2022	2020	2018	2016	2014	2012	2010	2008	2005	2004	2003
EGDI – classificação	49	54	44	51	57	59	61	45	33	35	41
EGDI – valor	0,791	0,7677	0,7327	0,63769	0,60082	0,61673	0,50058	0,5679	0,59811	0,56746	0,52673
EGDI – variações ano a ano	0,02	0,04	0,10	0,04	-0,02	0,12	-0,07	-0,03	0,03	0,04	NA
EPI – classificação	11	18	12	37	24	31	42	23	18	35	29
EPI – valor	0,8977	0,9048	0,9719	0,72881	0,70588	0,5	0,28571	0,45454	0,49206	0,2459	0,3793
EPI – variações ano a ano	-0,01	-0,07	0,24	0,02	0,21	0,21	-0,17	-0,04	0,25	-0,13	NA
OSI – classificação	14	20	17	36	48	31	55	30	17	24	21
OSI – valor	0,8964	0,8706	0,9236	0,73188	0,59842	0,6732	0,36825	0,602	0,75	0,63706	0,57641
OSI – variações ano a ano	0,03	-0,05	0,19	0,13	-0,07	0,30	-0,23	-0,15	0,11	0,06	NA
TII – valor	0,6814	0,6522	0,522	0,5025	0,46681	0,35676	0,2538	0,21812	0,16435	0,16533	0,17378
TII – variações ano a ano	0,03	0,13	0,02	0,04	0,11	0,10	0,04	0,05	-0,00	-0,01	NA
HCI – valor	0,7953	0,7803	0,7525	0,67867	0,7372	0,82025	0,8837	0,8825	0,88	0,9	0,83
HCI – variações ano a ano	0,02	0,03	0,07	-0,06	-0,08	- 0,06	0,00	0,00	-0,02	0,07	NA

Fonte: United Nations (2022).
Elaboração do autor.

Quanto à apuração da OCDE de 2020, o Brasil figurou na 16ª posição no *ranking* do DGI entre 33 países estudados, sendo 29 membros e quatro não membros, no qual se enquadra o Brasil. O índice brasileiro foi de 0,519, ficando acima da média dos países-membros da OCDE. A dimensão em que o país ficou mais bem posicionado foi a de centrado no usuário, com a 13ª posição, seguido das dimensões setor público guiado por dados e aberto por padrão, nas quais o país ficou na 14ª colocação. A pior colocação ficou na dimensão governo como plataforma, um 18º lugar, seguido da proativo, com a 17ª posição.

3.4 Análise de lacunas da atual política de governo digital no Brasil

Esta subseção busca identificar os principais itens da política pública de governo eletrônico/digital recomendados pelos três organismos internacionais em estudo e ainda não implementados plenamente pelo Brasil.

3.4.1 DGI da OCDE

A última publicação do DGI aconteceu em 2020 e levou em consideração dados coletados entre 2018 e 2019. Dessa forma, a análise de *gaps* partirá desses resultados do DGI, mas em seguida serão ponderados os avanços na política no país após essa data.

É importante mencionar também que a instituição não disponibiliza um arquivo com dados brutos em que se pode consultar precisamente qual item avaliado o Brasil cumpre ou não. Dessa forma, a avaliação será feita em mais alto nível, a partir dos indicadores apresentados e do que eles significam.

Pela análise do DGI da OCDE, conforme a tabela 1, conclui-se o que segue.

1) A dimensão em que o Brasil ficou na pior posição relativa entre os 33 países estudados foi governo como plataforma; e aquela com menor índice alcançado foi proativo.
2) Entre os itens avaliados na dimensão governo como plataforma ainda não plenamente implementados pelo Brasil estão:
    a) a reutilização de dados a partes interessadas externas ao setor público; e
    b) avanço nos mecanismos para *codesign* de serviços entre empresas e governo.

Com relação ao ponto 1, o Brasil possui um importante portal de dados abertos[11] e já interopera dados, inclusive pessoais, intragoverno. Porém, resta

11. Disponível em: https://dados.gov.br/home. Acesso em: 9 maio 2023.

estabelecer um marco legal e um *framework* de interoperabilidade com o setor não governamental que permita o reuso em serviços privados de dados hospedados no setor público, quando for conveniente ao titular dos dados e dando a ele pleno controle de privacidade. Importante mencionar que tramita na Câmara dos Deputados, desde 2021, o Projeto de Lei nº 2.224/2021,[12] que trata dessa questão.

Sobre o ponto 2, alguns mecanismos foram implantados para impulsionar o *codesign* de serviços entre empresas e governo, provavelmente não captados no estudo pela época da coleta de dados. Entre os mais importantes deles pode-se citar a plataforma de desafios[13] da Enap, implantada em 2019. Outro avanço importante, mas que ainda se encontra em andamento, é o Edital MCTI/FINEP/FNDCT/ME/ENAP nº 16/2022, Soluções de IA para o Poder Público – Rodada 1, já mencionado anteriormente, que busca contratar GovTechs utilizando recursos de subvenção econômica e processo de contratação do Marco Legal das Startups. O aprendizado na sua implementação permitirá o avanço na cocriação de serviços entre o poder público e o setor não governamental e a disseminação dentro do setor público dos avanços advindos do novo marco legal.

Quanto à dimensão proatividade, o baixo resultado do país deve estar relacionado à data de referência da apuração, pois o Brasil apresentou importantes avanços nessa temática desde o lançamento da plataforma gov.br e da EGD 2020-2022. Podem-se citar como itens a serem aprimorados nessa dimensão: a maior participação de especialistas de fora do governo em todos os estágios do ciclo das políticas públicas; uma maior padronização de ferramentas de entrega de soluções digitais dentro do ecossistema do Sisp; e uma maior integração da carta de serviços públicos ofertados por todos os entes federativos.

Como destaques de *gaps* relevantes de outras dimensões, podem ser citados os a seguir descritos.

1) Dimensão centrado no usuário: esforços para garantir a inclusão e a participação de grupos da população vulnerável no desenho das políticas e projeto de serviços.

2) Dimensão guiado por dados: falta de uma estratégia federal de governança de dados. Destaca-se que o Comitê Central de Governança de Dados instituiu em 2022 um subcomitê técnico[14] para propor orientações para estruturação da governança de dados dos órgãos e entidades, com o objetivo de elaborar tal estratégia.

12. Disponível em: https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/2287424. Acesso em: 9 maio 2023.
13. Disponível em: https://desafios.enap.gov.br/pt/. Acesso em: 9 maio 2023.
14. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-ccgd-n-11-de-22-de-junho-de-2022-410418736. Acesso em: 9 maio 2023.

Vale ainda citar a dimensão governo aberto e trazer as principais recomendações da OCDE em seu *peer review* (2022), realizado em conjunto com a CGU, conforme citado adiante.

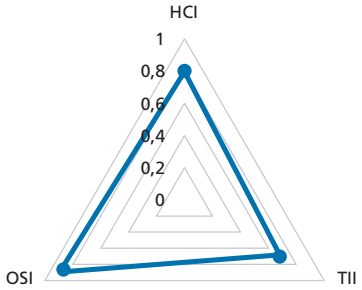
- Consolidar um único conceito de governo aberto aceito para toda a administração pública.
- Harmonizar e consolidar toda a vasta legislação que toca a disciplina de governo aberto, criando um compêndio de leis sobre o assunto.
- Editar uma estratégia federal e outra nacional integrada de governo aberto, integrando iniciativas dos demais entes federativos.
- Utilizar o próximo plano de ação do Open Government Partnership (OGP) para tratar ações mais ambiciosas e estruturantes na temática, bem como de formar um ecossistema integrado de governo aberto.
- Definição de um líder da agenda de governo aberto com abrangência integral das atribuições previstas na recomendação da OCDE sobre o tema.
- Criar um conselho nacional de governo aberto multisetorial para habilitar e integrar a agenda.
- Criar um *kit* de ferramentas sobre governo aberto integrado para determinados públicos, bem como um curso introdutório mandatório sobre a temática e um catálogo central de cursos.
- Criar uma comunidade de prática e uma premiação sobre o tema.
- Criar um capítulo sobre monitoramento e avaliação na estratégia federal de governo aberto.
- Criação de um portal integrado sobre governo aberto no conceito *one-stop shop*.

3.4.2 EGDI da ONU

A ONU, assim com a OCDE, também não disponibiliza um arquivo com dados brutos em que se pode consultar precisamente qual item avaliado o Brasil cumpre ou não. Dessa forma, a avaliação será feita em mais alto nível, a partir dos indicadores apresentados e do que eles representam.

O EGDI é composto de três subíndices, o OSI, o TII e o HCI. A figura 11 demonstra os índices obtidos pelo Brasil em cada um dos componentes. Em linha com a tabela 1, apresentada anteriormente, o Brasil apresentou a melhor avaliação no índice OSI, seguido pelo HCI e tendo o pior resultado no TII.

FIGURA 11
Resultado do Brasil nos subíndices que compõem o EGDI-ONU

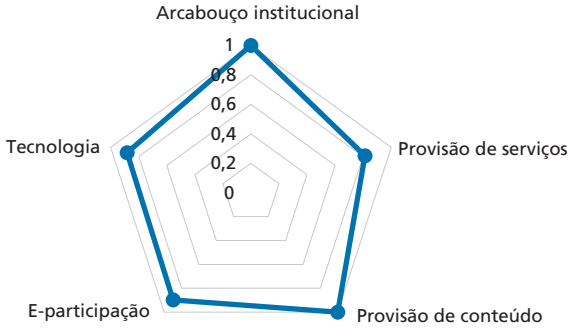


Fonte: United Nations (2022, tradução nossa).

O OSI, por sua vez, é composto de cinco elementos, conforme abordado na seção 2.2 deste capítulo. Os resultados do Brasil nesses componentes são apresentados na figura 12.

Pela análise da figura em radar, verifica-se que o Brasil apresentou resultados máximos nos itens IF e CP, havendo *gaps* a serem analisados, ainda que relativamente pequenos, nos índices de SP, TEC e EPI.

FIGURA 12
Resultado do Brasil nos componentes do OSI-ONU



Fonte: United Nations (2022, tradução nossa).

Na componente de provisão de serviços, United Nations (2022, p. 195) lista, entre outros pontos, uma série extensa de serviços públicos que devem ser ofertados de forma *online* para compor o resultado do indicador. Não há dados brutos que permitam identificar precisamente quais itens foram considerados cumpridos ou não pelo Brasil, o que enseja estudo posterior mais aprofundado. Porém, pode-se perceber que há vários serviços considerados como da responsabilidade de entes subnacionais e também de cartórios, como registro de veículos, habilitação para dirigir, boletim de ocorrência, emissão de carteira de identidade,

pagamento de taxas, registro de terras, certidão de casamento, matrícula em escolas e acesso à justiça, entre outros.

Para proceder com a análise em mais alto nível, pode-se recorrer aos resultados do mapa de governo digital (CAF, 2022), que apresentou como um dos principais desafios da transformação digital municipal:

> digitalização dos serviços: dados da MUNIC apontam grande margem de expansão da digitalização da carta de serviços públicos municipais: dos dezoito serviços investigados pelo estudo, as prefeituras do Brasil disponibilizam em média na internet oito deles (CAF, 2022, p. 7).

Já no nível dos estados ou do Distrito Federal, estudo da Associação Brasileira de Entidades Estaduais de Tecnologia da Informação e Comunicação (Abep-TIC) evidencia disparidades nessa seara. De acordo com o estudo, na dimensão oferta de serviços digitais, não há nenhuma UF no nível *ótimo*, enquanto seis estão no nível *muito bom*, catorze no nível *bom* e sete no *regular*.[15]

Diante de realidades distintas na oferta de serviços digitais nos – e entre – os níveis federativos, e em contraste com as recomendações da OCDE para essa dimensão, pode-se afirmar que há oportunidades para melhor harmonizar e integrar o acesso aos serviços digitais ofertados por entes subnacionais ao cidadão, no conceito *whole-of-government*, ou seja, numa visão integrada e acima dos silos, bem como para acelerar o processo de digitalização nos entes subnacionais. Iniciativas como o Sistema Nacional de Notificação Eletrônica (SNE) e a carteira digital de trânsito, da Secretaria Nacional de Trânsito (Senatran), a Rede Nacional de Dados em Saúde (RNDS) do Ministério da Saúde, e a rede Aprender, do Ministério da Educação, são exemplos de modelos de integração nacional de serviços providos por estados e municípios. Nesse diapasão, ressalta-se que o país tem a oportunidade de tratar melhor essa orquestração, com a elaboração da Estratégia Nacional de Governo Digital, prevista na Lei nº 14.129 (Lei de Governo Digital), cujo comando para sua elaboração se deu pelo Decreto nº 11.260/2022, com prazo final para envio da proposta para aprovação da Presidência da República em 15 de novembro de 2023.

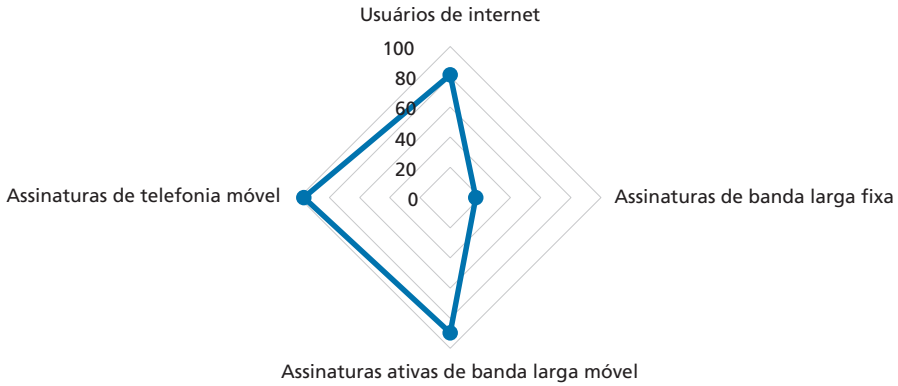
A análise da componente tecnologia do OSI se faz prejudicada sem um arquivo de dados brutos que apresente em quais itens o Brasil não é aderente, pois não se encontra claramente algum critério não cumprido. Há, ainda, diversos requisitos (United Nations, 2022, p. 194) que se aplicariam a uma miríade de plataformas digitais setoriais que requereria um estudo mais extenso de aderência. Um dos itens que vale a pena citar, que está disponível apenas para poucas plataformas, é o de disponibilização de *chatbot* suportado por IA.

15. Disponível em: https://www.abep-tic.org.br/indice-abep-2022/.

Quanto aos requisitos avaliados no componente EPI, United Nations (2022, p. 194), traz uma lista extensa de requisitos que abrangem compromissos de toda a administração pública, carecendo de um estudo mais abrangente sobre o cumprimento do país para apontamento de *gaps*. Considerando que a OCDE fez avaliação recente dessa temática por meio do *peer review* sobre governo aberto no Brasil (OECD, 2022), a avaliação de *gaps* nesse tema ficará delimitada àqueles apontados pelo organismo nesse estudo, conforme já abordado na seção 3.4.1.

Com relação à avaliação do índice TII, que é composto de quatro subíndices, os resultados do Brasil considerados são apresentados na figura 13.

FIGURA 13
Resultados do Brasil considerados nos componentes do TII-ONU



Fonte: United Nations (2022, tradução nossa).

Para contornar a ausência de dados brutos que permitam uma análise estatística comparativa mais elaborada desses resultados com outros países, a tabela 2 apresenta a comparação dos resultados do Brasil com outros três países selecionados.

TABELA 2
Resultado do Brasil nos subíndices do TII-ONU em comparação com países selecionados (Em %)

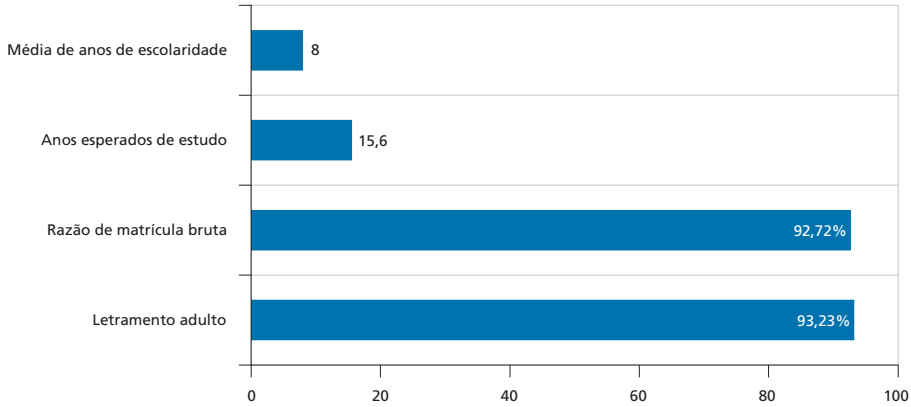
País	Usuários de internet	Usuários de banda larga fixa	Assinaturas de telefonia móvel	Assinaturas de banda larga móvel
Liechtenstein (1º *ranking*)	99,5	47,34	120	120
Estados Unidos (1º nas Américas)	90,9	36,6	106	120
Uruguai (1º na América Latina)	86,1	30,6	120	105
Brasil	81,3	17,1	96,8	89,7
Comparação dos resultados do Brasil em relação aos países selecionados	Entre 82 e 94	Entre 36 e 56	Entre 81 e 91	Entre 75 e 85

Fonte: United Nations (2022).

A proporção de usuários de banda larga fixa é o item cujo resultado do Brasil mais se distancia dos resultados dos países comparados, chegando a representar apenas 36% do resultado do país que lidera esse indicador e menos da metade (47%) do resultado dos Estados Unidos, que é o primeiro da América. A proporção de assinaturas de banda larga móvel é o segundo item com resultados mais distantes, ficando os resultados do país entre 75% e 85% dos resultados dos demais. Os outros itens ficam entre 81% e 94% em relação aos resultados das nações comparadas. Com isso, conclui-se que o maior *gap* do país na infraestrutura de telecomunicações seria a baixa penetração da banda larga fixa na população brasileira.

Como último item componente do EGDI-ONU, analisa-se o HCI, que trata sobre capital humano. Os resultados do Brasil considerados são apresentados na figura 14.

FIGURA 14
Resultados do Brasil considerados nos componentes do HCI-ONU



Fonte: United Nations (2022, tradução nossa).

Na ausência de dados brutos que permitam uma análise estatística comparativa mais elaborada desses resultados com outros países, a tabela 3 apresenta a comparação do Brasil com outros três países selecionados.

O item cujo resultado do Brasil apresenta maior descolamento em relação aos demais é a média de anos de estudo escolar, ficando o resultado do país entre 63% e 73% dos demais. O segundo maior *gap* acontece na expectativa de anos de estudo, ficando o Brasil com resultados entre 72% e 96% dos demais.

Uma análise consolidada das lacunas identificadas será apresentada na seção 4, acompanhada de proposições para aprimoramento da política pública de governo digital.

TABELA 3
Resultados do Brasil considerados nos componentes do HCI-ONU em comparação com países selecionados

País	Adultos alfabetizados (%)	Taxa de matrícula (%)	Expectativa de anos de estudo (anos)	Média de anos de estudo escolar (anos)
Austrália (1º *ranking*)	99	100	21,6	12,7
Estados Unidos (1º nas Américas)	99	98,3	16,3	13,4
Argentina (1º na América Latina)	99	100	17,9	10,9
Brasil	93,2	92,7	15,6	8
Comparação dos resultados do Brasil em relação aos países selecionados	94	Entre 93 e 94	Entre 72 e 96	Entre 63 e 73

Fonte: United Nations (2022).

4 CONCLUSÃO

O Brasil possui uma trajetória de mais de duas décadas de planejamento e adoção de medidas estruturantes em diversas dimensões voltadas à implementação de uma visão de governo eletrônico/digital, abrangendo sete gestões presidenciais diferentes nesse período, conforme figura 8, evidenciando que essa temática ganhou característica de agenda de Estado.

Mais recentemente, após *peer review* da OCDE sobre governo digital no Brasil em 2018, com a implantação da plataforma gov.br em 2019, a formalização de planos de transformação digital pelos órgãos e a execução da EGD 2020-2023, promovidas pelo governo federal, o Brasil teve êxito na aceleração da transformação digital e na implantação do conceito *one-stop shop* na oferta de serviços à população. Foram contabilizados, ao final de 2022, mais de 4.100 serviços digitais ofertados, após realizar a migração de 177 portais de órgãos federais para a plataforma central. Além disso, implantou-se a conta digital gov.br para acesso da população aos serviços digitais, que acumulava, ao final de 2022, 142 milhões de cidadãos cadastrados, bem como a assinatura eletrônica avançada, gratuita, cuja utilização ultrapassou a marca de 2 milhões de transações mensais no mesmo período.

A análise dos resultados mais recentes dos índices e *rankings* relevantes de governo eletrônico/digital revelou o aumento da maturidade do Brasil naqueles que medem a capacidade do Estado de ofertar serviços públicos simples, eficientes e com foco no cidadão. O país figurou com o segundo maior GTMI apurado pelo Banco Mundial em 2022, entre 198 países; com a melhor posição da série histórica no *ranking* do OSI da ONU de 2022, em 14º lugar, entre 193 países; e com um DGI apurado pela OCDE, em 2020, acima da média dos países-membros do organismo, tendo ficado na 16ª posição entre os 33 países estudados, mesmo antes da implantação de várias medidas efetivadas após o estudo. Nos índices do

Banco Mundial e da ONU, o Brasil foi classificado no grupo dos países com o mais alto grau de maturidade apurado. A OCDE não divulga o agrupamento dos países em categorias no seu DGI.

Por outro lado, quando se analisam os índices apurados pela ONU que avaliam as barreiras de acesso da população aos serviços, o Brasil apresentou resultados de menor destaque, revelando desafios nessa área. Apesar do crescimento consistente nos resultados absolutos em ambos os indicadores desde 2018, o país apresentou apenas o 74º melhor HCI e o 79º melhor TII em 2022, entre 193 países. Ainda assim, o país foi classificado no grupo de países categorizados com índice *muito alto* no HCI, o grupo de maior nível da escala, e *alto* no TII, grupo de países com o segundo maior nível.

Mesmo com os avanços que elevaram o Brasil à condição de destaque mundial nessa temática, a análise de lacunas realizada na subseção 3.4 mostrou que há aprimoramentos a realizar na política de governo digital.

Do ponto de vista da oferta de serviços à população, o Brasil não oferece ainda, de forma sistemática, a reutilização de dados hospedados no poder público a partes interessadas externas ao setor. Aqui, há a oportunidade de se implementar um *framework* que envolva, nos moldes do adotado pela União Europeia, a oferta de um catálogo de dados ao setor não governamental que vá além dos dados abertos, associado ao aprimoramento do centro de controle de privacidade ao cidadão que lhe permita o reuso de dados conveniente, seguro e controlado.

O país também tem oportunidade de avançar na implantação de mecanismos para *codesign* de serviços e soluções entre empresas e governo. Iniciativas recentes de mapeamento e lançamento de desafios ao setor não governamental, bem como o fomento a GovTechs, merecem ser amadurecidas e disseminadas em toda a administração pública. Outra oportunidade apontada consiste na maior participação de especialistas de fora do governo em todos os estágios do ciclo das políticas públicas e uma maior padronização e reutilização de ferramentas de entrega de soluções digitais dentro do ecossistema do Sisp. Há ainda a necessidade de se aumentarem os esforços para garantir a inclusão e a participação de grupos da população vulnerável no desenho das políticas e no projeto de serviços.

Na questão do uso de dados para guiar o desenvolvimento das políticas públicas, falta a edição de uma estratégia federal de governança de dados.

Com relação à temática de governo aberto, há oportunidade de:

- harmonizar e consolidar toda a vasta legislação que toca a disciplina de governo aberto, criando um compêndio de leis sobre o assunto;

- editar estratégias integradas de governo aberto, uma federal e outra nacional, para agregar iniciativas dos demais entes federativos;
- utilizar o próximo plano de ação do OGP para endereçar ações mais ambiciosas e estruturantes na temática, bem como formar um ecossistema integrado de governo aberto;
- definir um líder da agenda de governo aberto com abrangência integral das atribuições previstas na recomendação da OCDE sobre o tema;
- criar um conselho nacional de governo aberto multissetorial para habilitar e integrar a agenda;
- criar um *kit* de ferramentas sobre governo aberto integrado para determinados públicos, bem como um curso introdutório mandatório sobre a temática e um catálogo central de cursos;
- criar uma comunidade de prática e uma premiação sobre o tema;
- criar um capítulo sobre monitoramento e avaliação na Estratégia Federal de Governo Aberto; e
- criar um portal integrado sobre governo aberto no conceito *one-stop shop*.

Também é verificada a necessidade de uma maior integração da carta de serviços públicos ofertados por todos os entes federativos, harmonizando e integrando o acesso aos serviços digitais ofertados por entes subnacionais ao cidadão, no conceito *whole-of-government*, com uma visão integrada e acima dos silos.

Por fim, do ponto de vista das barreiras à utilização de serviços públicos digitais, faz-se necessário intensificar as políticas de inclusão digital e de educação, sobretudo aumentando o acesso à banda larga fixa à população brasileira, bem como a quantidade de anos de estudo do brasileiro, com ênfase na alfabetização digital.

Como sugestões para estudos posteriores, podem-se citar: uma análise aprofundada das causas que levaram o Brasil à posição de destaque mundial na temática de governo eletrônico/digital; uma análise dos efeitos de rede na plataforma gov.br entre cidadãos demandantes de serviços e órgãos públicos que ofertam serviços digitais, considerando que há um monopólio da oferta desse tipo de serviço pelo poder público; e modelos de arranjos para orquestrar de forma ótima serviços públicos ofertados por diferentes entes federativos.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Decreto nº 8.936, de 19 de dezembro de 2016. Institui a Plataforma de Cidadania Digital e dispõe sobre a oferta dos serviços públicos digitais, no âmbito dos órgãos e das entidades da administração pública federal direta, autárquica e fundacional. **Diário Oficial**, Brasília, 20 de dezembro de 2016. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/decreto/d8936.htm.

_____. Secretaria de Governo Digital. **Guia prático**: modelo de custos de serviços públicos, Brasília: SGD, fev. 2022. Disponível em: https://www.gov.br/governodigital/pt-br/transformacao-digital/ferramentas/GuiaPrtico_ModelodeCustosdeServiosPblicos.pdf. Acesso em 28 abr. 2023.

CAF – BANCO DE DESENVOLVIMENTO DA AMÉRICA LATINA. **Mapa de Governo Digital**. [s.l.]: CAF, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/governodigital/pt-br/transformacao-digital/rede-nacional-de-governo-digital/mapa/boletim-mapa-de-governo-digital-2022_1a-edicao.pdf. Acesso em: 10 maio 2023.

DIAMANDIS, P. H.; KOTLER, S. **Bold**: oportunidades exponenciais – um manual prático para transformar os maiores problemas do mundo nas maiores oportunidades de negócio. Rio de Janeiro: Alta Books, 2018.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **The e-Government Imperative**. Paris: OCDE, 2003. (OECD Government Studies).

_____. **Recommendation of the Council on digital government strategies**. Paris: OECD, 2014.

_____. **Digital Government Review of Brazil**: towards the digital transformation of the public sector. Paris: OECD, 2018.

_____. **State of the art in the use of emerging technologies in the public sector**. Paris: OECD, 2019.

_____. **Digital government index**: 2019 results. Paris: OEDC, 2020a. (OECD Public Governance Policy Papers n. 3).

_____. **The OECD digital government policy framework**: six dimensions of a digital government. Paris: OECD, 2020b. (OECD Public Governance Policy Papers n. 2).

_____. **Open Government Review of Brazil**: Towards an Integrated Open Government Agenda. Paris: OCDE, 2022. Disponível em: https://read.oecd-ilibrary.org/governance/open-government-review-of-brazil_3f9009d4-en. Acesso em: 10 maio 2023.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT; ITU – INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. **M-Government**: mobile technologies for responsive governments and connected societies. Paris: OECD, 2011.

ROGERS, D. L. **Transformação digital**: repensando o seu negócio na era digital. São Paulo: Autêntica Business, 2017.

UNITED NATIONS. **E-Government Survey 2022**: The Future of Digital Government. New York: United Nations, 2022. Disponível em: https://desapublications.un.org/sites/default/files/publications/2022-09/Web%20version%20E-Government%202022.pdf. Acesso em: 2 maio 2023.

WORLD BANK. **GovTech Maturity Index**: The State of Public Sector Digital Transformation. Washington: World Bank, 2021.

_____. **GovTech maturity index 2022 update**: trends in public sector digital transformation. Washington: World Bank, 2022.

YIN, Robert K. **Case study research**: design and methods. Thousand Oaks: Sage Publications, 2009.

CAPÍTULO 9

O PAPEL DA SEGURANÇA CIBERNÉTICA NO UNIVERSO DIGITAL: A IMPORTÂNCIA DO FATOR HUMANO

Emilio Tissato Nakamura[1]

1 INTRODUÇÃO

A transformação digital se reflete na evolução social e econômica, afetando a rotina de pessoas, organizações, empresas e países. As integrações, interdependências e os avanços tecnológicos característicos do universo digital têm tornado o cotidiano mais dinâmico, ao mesmo tempo em que há o aumento da complexidade no desenvolvimento de produtos e serviços. Todos possuem responsabilidades para que o universo digital seja um ambiente saudável, possibilitando a evolução da sociedade e os avanços das nações, de uma forma integrada e sinérgica. A confiança é fundamental, e um de seus pilares é a percepção de segurança, com os riscos cibernéticos exercendo uma pressão que exige adequação no comportamento dos envolvidos.

Como indivíduos, há a necessidade de atenção e diligência quanto ao compartilhamento de informações, exigindo que governos e empresas realizem o tratamento dos dados pessoais com a devida proteção. Adicionalmente, há a responsabilidade cada vez maior para que a transformação digital não seja um elo nos ataques cibernéticos que comprometem cada vez mais intensamente empresas, organizações e países. Uma empresa, um governo ou uma organização de qualquer natureza ou tamanho deve, imprescindivelmente, adotar uma postura de segurança cibernética adequada para construir, utilizar e prover sistemas, serviços ou plataformas seguras, operando com segurança adequada e estando preparado para os incidentes cibernéticos, criando uma proposta de valor. E, no caso do país, é fundamental estabelecer a segurança cibernética em um ambiente em que a interdependência entre infraestruturas críticas nacionais aumente a complexidade, de modo que não haja um aumento sem controle da superfície de ataques cibernéticos, que pode levar a impactos em cadeia.

Desse modo, no universo digital, a segurança cibernética é imprescindível e depende cada vez mais do fator humano, exigindo uma evolução educacional

1. Diretor-adjunto de cibersegurança da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP).

para o desenvolvimento tecnológico e a construção de serviços e plataformas confiáveis para a sociedade. Com o fortalecimento de uma cultura de segurança e privacidade, há condições para que todos estejam preparados para os ataques cibernéticos e possam exercer seus direitos e deveres em uma sociedade mais digital.

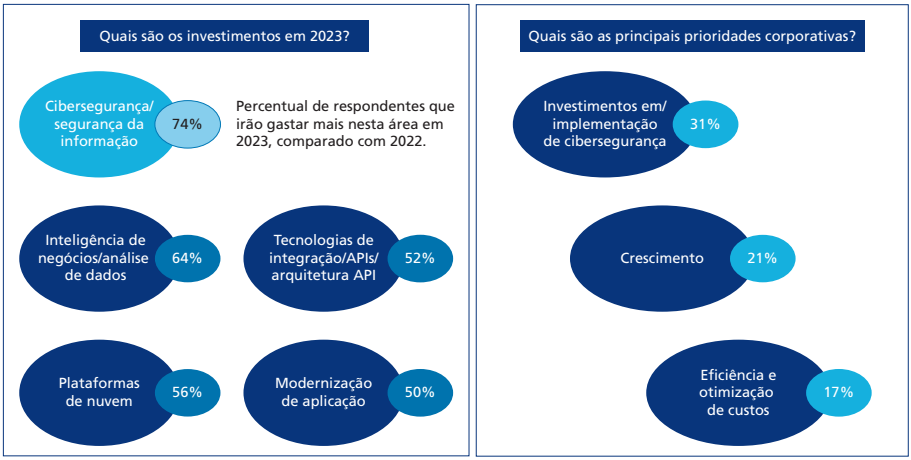
Este capítulo discute o papel da segurança cibernética no universo digital, com ênfase na importância do fator humano, iniciando com os riscos cibernéticos e incidentes de segurança da informação no Brasil e no mundo, que avançam rapidamente. A complexidade da segurança cibernética é decorrente das dimensões que devem ser tratadas, bem como do dinamismo universal que leva à evolução da própria cibersegurança. O fator humano na segurança cibernética é discutido logo a seguir, incluindo as vulnerabilidades humanas que estão sendo exploradas em ataques cibernéticos e a necessidade de conscientização, de treinamento e de fortalecimento de uma cultura de segurança da informação. Um panorama do Brasil também é apresentado, com a educação em segurança cibernética sendo discutida em conjunto com as principais tendências e com a apresentação de uma proposta de estratégia para que o fator humano na cibersegurança seja trabalhado em conjunto com a iniciativa pública e privada.

2 RISCOS CIBERNÉTICOS E INCIDENTES DE SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO NO BRASIL E NO MUNDO

As necessidades de segurança cibernética se tornam ainda mais evidentes com o aumento do número de incidentes nessa área que acontecem no Brasil e no mundo. Os investimentos necessários devem levar em consideração a visão de riscos, que são específicos de cada um, e são de diferentes naturezas, incluindo os riscos cibernéticos. Para as empresas brasileiras, a figura 1 indica que a prioridade para 2023 é a cibersegurança. Além de 74% das empresas indicarem que irão aumentar os investimentos em cibersegurança em 2023, para 31% delas a segurança cibernética é a prioridade corporativa, mais do que a busca do crescimento (para 21% das empresas) e do que a busca da eficiência e otimização de custos (17%).

Os investimentos mostram que os riscos cibernéticos já não são uma questão técnica ou tecnológica, e sim uma questão de negócio e organizacional. Isso é reforçado pela maior convergência entre as visões de líderes das organizações e de líderes de cibersegurança ao longo dos anos, como mostra a tabela 1 (FEM, 2023a). Para a maioria dos líderes de negócios, a cibersegurança é um habilitador-chave de negócio, enquanto para a maior parte dos líderes de cibersegurança, ela é um custo necessário para se realizar um negócio. Em outras respostas, os líderes descreveram a segurança cibernética como um diferencial competitivo ou uma decorrência da conformidade regulatória.

FIGURA 1
Prioridades de investimentos no Brasil em 2023



Fonte: Gartner, 2022. Disponível em: https://www.gartner.com/document/4021757.
Elaboração do autor.

TABELA 1
A visão dos líderes de negócios e de cibersegurança está convergindo
(Em %)

	Diferenciação de produto e serviço	Cibersegurança é um custo necessário para realizar um negócio	Cibersegurança é um habilitador-chave de negócio	Conformidade direcio-na nossos controles de segurança
Líderes de negócios	10	37	51	2
Líderes de cibersegurança	14	39	32	14

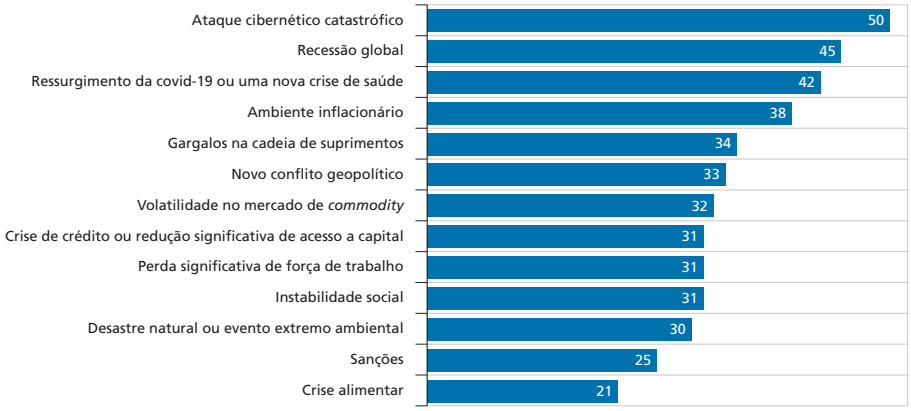
Fonte: WEF (2023a).
Elaboração do autor.

2.1 Dos riscos cibernéticos aos incidentes de segurança

Em um mundo em transformação digital, os riscos globais envolvem, de uma forma cada vez mais forte, os riscos cibernéticos. O Fórum Econômico Mundial (FEM) indica os crimes cibernéticos e a insegurança cibernética como um dos principais riscos globais, ao lado de riscos econômicos, ambientais, geopolíticos e sociais (FEM, 2023b).

Já em uma pesquisa realizada globalmente em 2023, os planos de continuidade de negócios consideram como pior risco o de ataques cibernéticos, sendo mais citado do que uma recessão global ou o ressurgimento da covid-19, como pode ser visto no gráfico 1.

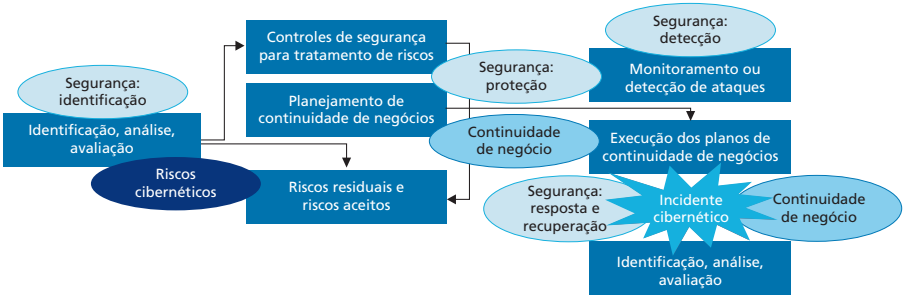
GRÁFICO 1
Principais riscos considerados para 2023
(Em %)



Fonte: PwC, 2023. Disponível em: https://www.pwc.com/gx/en/issues/cybersecurity/global-digital-trust-insights.html.
Elaboração do autor.

Esses riscos de segurança da informação, tratados pela norma ABNT NBR ISO/IEC 27005 (ABNT, 2019), possuem relação direta com a segurança da informação, tratada pela norma ABNT NBR ISO/IEC 27001 (ABNT, 2022a), e a continuidade de negócios, tratada pela norma ABNT NBR ISO 22301 (ABNT, 2020), como pode ser visto na figura 2. Os controles de segurança são implantados para o tratamento dos riscos identificados, analisados e avaliados, promovendo a proteção. O planejamento da continuidade de negócios é um controle de segurança cibernética, fazendo parte também da continuidade de negócios. Ele é executado em caso de incidente de segurança.

FIGURA 2
Relação entre riscos cibernéticos, segurança da informação e continuidade de negócios

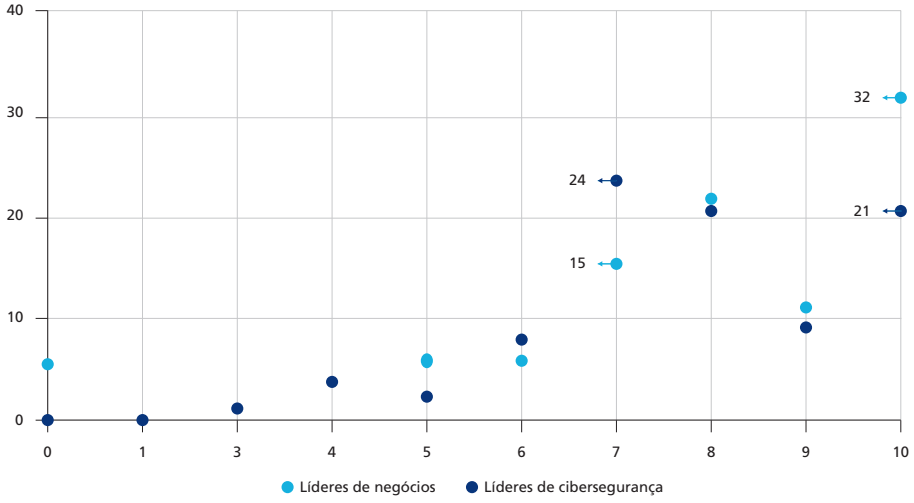


Elaboração do autor.

Os riscos devem ser identificados, analisados e avaliados, para que possam ser tratados em cada contexto específico, com a implantação de controles de segurança da informação. Dessa forma, a gestão de riscos cibernéticos direciona os investimentos em segurança da informação. Como há limites para os investimentos, além dos riscos não identificados, aceitos e residuais, a preparação das organizações para um incidente de segurança é uma das funções essenciais da cibersegurança, com a continuidade de negócios, que trata da resiliência cibernética.

O relatório de cibersegurança do FEM (2023a) indicou que 43% dos líderes de organizações acreditam que serão afetados por ataques cibernéticos nos próximos dois anos, o que tem direcionado os investimentos nos controles de segurança, incluindo a continuidade de negócios. O reflexo é um alinhamento cada vez maior entre a cibersegurança e a alta gestão das organizações, como pode ser visto no gráfico 2.

GRÁFICO 2
Integração dos riscos cibernéticos na estratégia corporativa
(Em %)

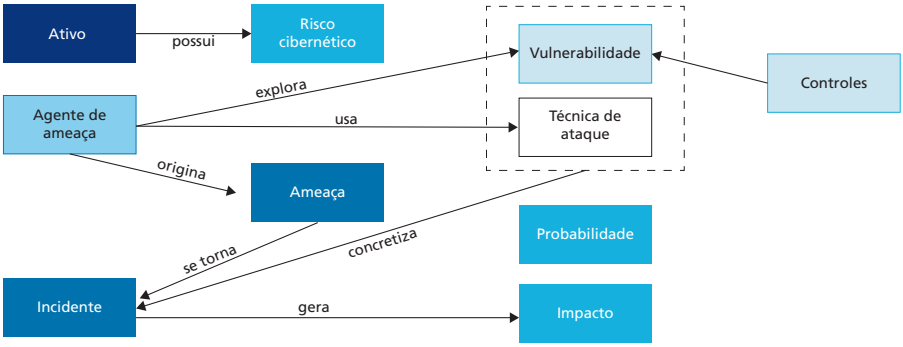


Fonte: WEF (2023a).
Elaboração do autor.

Um incidente de segurança é decorrente de um risco cibernético que se concretiza, ou seja, da efetivação da ameaça com a exploração de vulnerabilidades de um ativo do ambiente por um agente de ameaça, causando impactos para a organização. Os controles de segurança, que podem ser tecnológicos, processuais ou físicos, devem ser implantados para que as vulnerabilidades sejam eliminadas. A figura 3 apresenta os elementos dos riscos cibernéticos que devem ser gerenciados com identificação, análise, avaliação, tratamento, comunicação e

monitoramento. Um risco cibernético é o produto da probabilidade e do impacto potencial causado por um incidente de segurança.

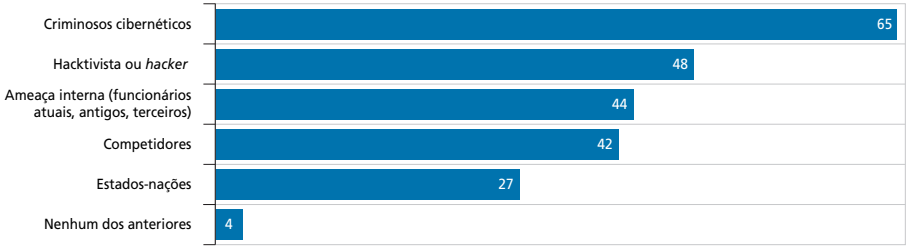
FIGURA 3
Elementos do risco cibernético



Elaboração do autor.

O gráfico 3 apresenta os principais agentes de ameaça considerados para 2023, segundo uma pesquisa realizada globalmente. De acordo com o estudo, 65% dos respondentes estão preocupados com criminosos cibernéticos, com outras preocupações com *hackers*, agentes internos, como funcionários e terceiros, competidores e países.

GRÁFICO 3
Principais agentes de ameaça considerados para 2023
(Em %)

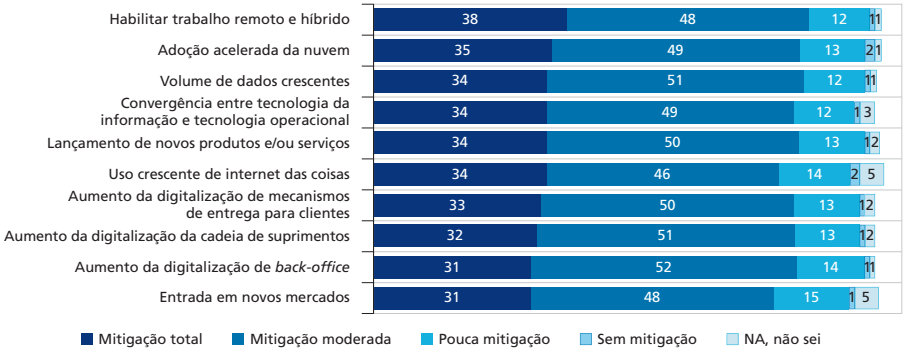


Fonte: PwC, 2023. Disponível em: https://www.pwc.com/gx/en/issues/cybersecurity/global-digital-trust-insights.html.
Elaboração do autor.

Os riscos cibernéticos são dinâmicos e evoluem sintonizados com os avanços no mundo, tais como o trabalho remoto, a adoção acelerada da nuvem computacional, o aumento do volume de dados, a convergência entre as tecnologias da informação e operacional, o lançamento de novos produtos e serviços, o aumento do uso de internet das coisas (*internet of things* – IoT), o aumento da digitalização de mecanismos de entregas e de cadeia de suprimentos, o aumento da

digitalização das operações de *back-office* e a entrada em novos mercados. O gráfico 4 mostra que menos que 3% das organizações tratam os riscos em sua completude, em todas as iniciativas. De uma forma geral, menos de 40% tratam totalmente os riscos cibernéticos de cada contexto individual, segundo a pesquisa.

GRÁFICO 4
Riscos cibernéticos associados a diferentes contextos e o nível de tratamento
(Em %)



Fonte: PwC, 2023. Disponível em: https://www.pwc.com/gx/en/issues/cybersecurity/global-digital-trust-insights.html.
Elaboração do autor.
Obs.: NA – não se aplica.

O fator humano deve ser considerado cada vez mais no universo digital, uma vez que as pessoas são os principais atores em qualquer contexto e representam ativos que podem ser explorados, com fraquezas ou vulnerabilidades, como ganância, desconhecimento, inocência e distração ou outras características e situações. Os ativos humanos, incluindo usuários, alta gestão, desenvolvedores, administradores, clientes ou parceiros, são cada vez mais utilizados como ponto inicial de ataques cibernéticos, permitindo o acesso e possibilitando as movimentações que levam a impactos relacionados à indisponibilidade, à perda de confidencialidade ou à perda de integridade.

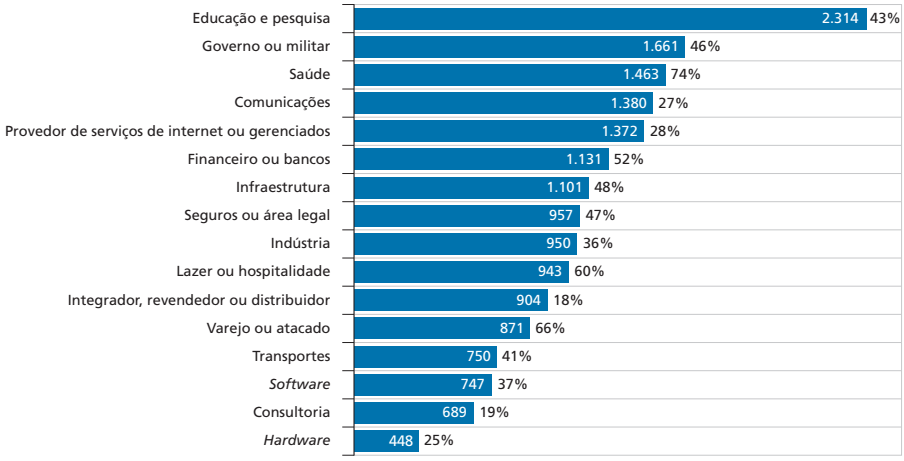
2.2 Incidentes de segurança crescendo em todo o mundo

Os ataques cibernéticos vêm crescendo no Brasil e no mundo, grande parte como reflexo da evolução da conectividade, das integrações e da digitalização, que aumentam naturalmente a superfície de ataques e a complexidade para a segurança cibernética. A criticidade pode ser vista na IoT (melhor abordada nas subseções 3.1 e 3.2) e nas infraestruturas críticas (subseção 3.4), que, com as cidades inteligentes, a Indústria 4.0 e setores como o elétrico e a saúde, podem sofrer impactos cada vez maiores devido à interdependência. Com esta, um incidente em uma parte da cadeia pode ser suficiente para afetar o todo. Exemplo disso é um ataque a um sistema do ambiente operacional de uma distribuidora

elétrica decorrente do acesso indevido com o uso de credenciais de um funcionário vítima de um ataque. Esse ataque inicial resulta na instalação de um código malicioso, que tem como consequência a interrupção ou picos de energia que acabam afetando outros setores, como a indústria, o financeiro ou a saúde.

Ataques cibernéticos à indústria que afetam a produção têm ocorrido com mais frequência (Arctic Wolf, 2023), especialmente no setor de energia (IEF, 2022). Em um contexto militar, os incidentes cibernéticos também são utilizados e demonstram, cada vez mais, a importância da segurança da área, conhecida como defesa cibernética nesse contexto. O gráfico 5 apresenta os setores mais atacados em 2022. Os destaques estão, nos últimos anos, nos âmbitos da educação e do governo, que têm sofrido a maior quantidade de ataques semanais. Uma série de aspectos devem ser considerados para esses destaques, como o aumento da superfície de ataques, decorrente, por exemplo, da necessidade de maior distribuição das plataformas de ensino, dos próprios alunos e dos dados de pesquisa no setor da educação. Outro aspecto é o nível de investimentos em cibersegurança de cada setor, que possui momentos diferentes e reforça a importância de uma articulação setorial para as ações de cibersegurança. Além disso, os agentes de ameaça atuam naquele alvo em que as condições de sucesso e recompensa dos ataques são maiores, o que indica uma necessidade de análise mais profunda nos setores de saúde, lazer e varejo, que tiveram os maiores índices percentuais de aumento de ataques semanais.

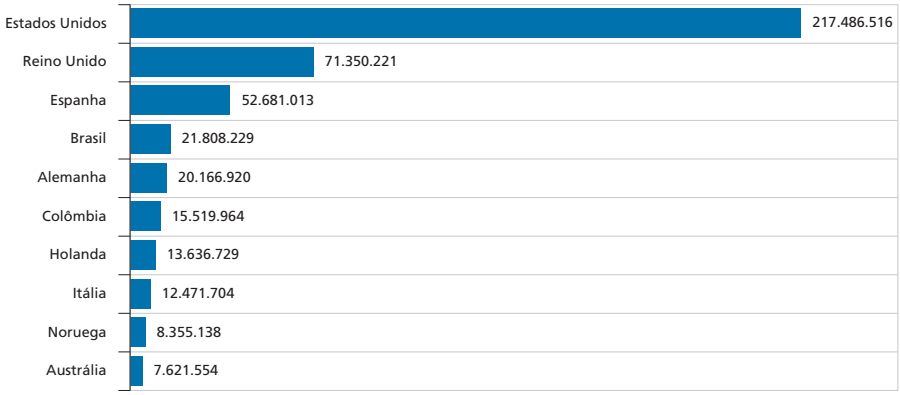
GRÁFICO 5
Setores mais atacados em 2022



Fonte: Check Point, 2023. Disponível em: https://go.checkpoint.com/2023-cyber-security-report/.
Elaboração do autor.

O Brasil possui uma posição de destaque entre os países que mais sofrem ataques cibernéticos. Em 2022, o Brasil continuou entre os países com maior volume de ataques de *ransomware*, como mostra o gráfico 6 (Sonicwall, 2023). Nesse tipo de incidente de segurança, há o sequestro de dados sensíveis com o uso de criptografia, paralisando as vítimas que não possuem *backups* e que não pagam o resgate para o acesso aos dados cifrados. Nos ataques mais recentes de *ransomware*, há pedidos de resgate também para evitar o vazamento dos dados, tornando os incidentes ainda mais custosos.

GRÁFICO 6
Países com maior quantidade de ataques cibernéticos (*ransomware*)



Fonte: Sonicwall (2023).
Elaboração do autor.

Os crimes cibernéticos impactam os negócios e trazem à tona discussões sobre regulamentações e mecanismos para minimizar os prejuízos das vítimas, incluindo os aspectos financeiros envolvidos com pagamento de resgates. Há muito ainda a evoluir nesse aspecto, mas um ponto de consenso é a importância de se tratar o fator humano, que tem sido explorado nos ataques de *ransomware*, principalmente para a instalação do código malicioso.

O gráfico 7 mostra os principais vetores de ataques que resultam em vazamentos de dados, com destaque para o roubo de credenciais de acesso e o *phishing*. Erros e mau uso de recursos e sistemas também podem resultar em vazamento de dados, mas não foram considerados nessa ilustração. Os erros representam 13% dos vazamentos, por exemplo, uma configuração errada do armazenamento em nuvem. As pessoas estão sendo mais exploradas em ataques cibernéticos do que as vulnerabilidades de sistemas e uso de *botnets*, com cerca de 82% dos incidentes de vazamento relacionados ao fator humano (Verizon, 2022).

GRÁFICO 7
Principais vetores de ataques cibernéticos[1]
(Em %)

Fonte: Verizon (2022).
Elaboração do autor.
Nota: [1] Valores aproximados.

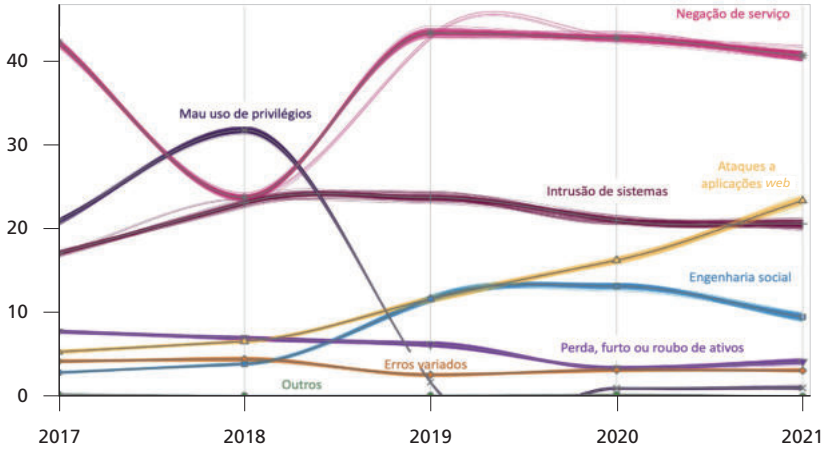
Os atacantes buscam otimizar os ataques cibernéticos, visando os ativos mais expostos e vulneráveis. Com isso, as pessoas parecem ser um dos alvos preferidos, mais até mesmo do que os sistemas vulneráveis. Mesmo os ataques direcionados, realizados por campanhas, visam as pessoas, que podem iniciar os ataques com a instalação de códigos maliciosos em sistemas internos. Um exemplo é o Stuxnet, que afetou usinas nucleares do Irã por meio de código malicioso instalado a partir de dispositivos de armazenamento que foram levados para dentro da usina por seus próprios funcionários (Fruhlinger, 2022).

Nesse contexto de otimização de ataques cibernéticos, os vazamentos de dados possuem grande relevância, já que aumentam a assertividade dos ataques direcionados, com o uso de dados pessoais para aumentar a verossimilidade de mensagens contendo conteúdo maliciosos, por exemplo. Esses casos reforçam a importância de leis como a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD) (Brasil, 2018a), que visam evitar vazamentos de dados que podem e estão sendo utilizados em outros ataques cibernéticos e outros tipos de fraudes.

2.3 Principais ataques cibernéticos

Os ataques cibernéticos podem ocorrer em diferentes camadas, das redes às aplicações, passando pelas infraestruturas e pelas pessoas. O gráfico 8 mostra os principais ataques realizados em 2022 (Verizon, 2022), com destaque para os incidentes relacionados aos ataques de negação de serviço (DDoS), que resultam em indisponibilidade dos serviços. Os ataques em aplicações *web* tiveram crescimento em 2022, ultrapassando as intrusões em sistemas, muito devido à própria evolução da internet como uma das principais plataformas para a realização de negócios, o que atrai naturalmente o interesse de criminosos. Muitos desses ataques exploram vulnerabilidades técnicas com o emprego de diferentes táticas, incluindo o uso de vulnerabilidades humanas, por exemplo, para a obtenção de credenciais. Entre os vetores de ataques, dois estão ligados diretamente às pessoas, que são a engenharia social e os erros. Há também os ataques que visam ao ativo físico, como os casos de perda, furto ou roubo.

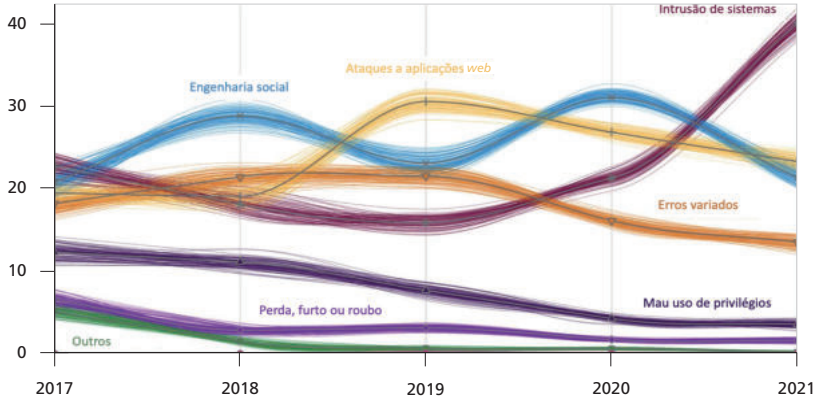
GRÁFICO 8
Principais vetores de ataques cibernéticos



Fonte: Verizon (2022).
Elaboração do autor.

O gráfico 9 apresenta as principais ameaças relacionadas ao vazamento de dados (Verizon, 2022), com destaque para a intrusão de sistemas. Deve-se considerar que as intrusões são realizadas para a instalação de códigos maliciosos que enviam dados para os criminosos a partir de diferentes vetores, incluindo o uso de credenciais de acesso obtidas ilicitamente, o *phishing* e os *ransomware*s. Esses vetores envolvem o fator humano, bem como as ameaças de engenharia social e os erros variados, que permitem aos criminosos o acesso a dados de forma indevida.

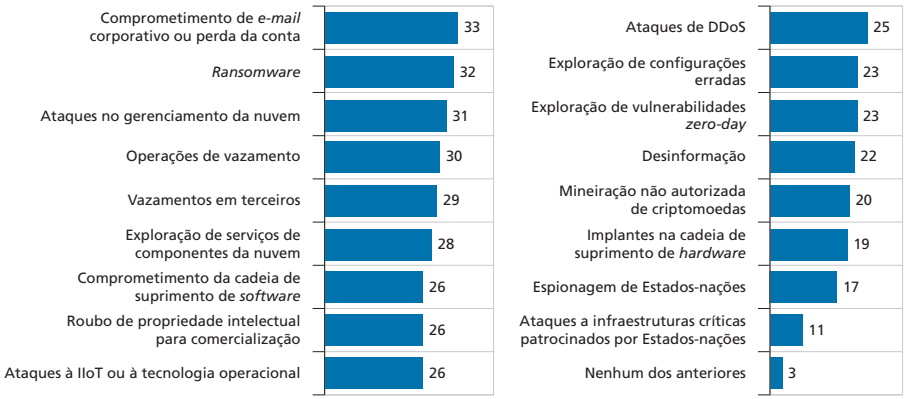
GRÁFICO 9
Principais ameaças relacionadas ao vazamento de dados



Fonte: Verizon (2023).
Elaboração do autor.

Uma dimensão da complexidade da cibersegurança pode ser vista nas preocupações para 2023 sobre as ameaças e eventos cibernéticos, no gráfico 10. Há um receio quanto às informações internas e ao roubo de credenciais de acesso, além da manipulação de informações e de ataques mais sofisticados relacionados ao uso de nuvem computacional, cadeia de suprimentos e internet industrial das coisas (*industrial internet of things* – IIoT).

GRÁFICO 10
Principais ameaças em 2023
(Em %)



Fonte: PwC, 2023. Disponível em: https://www.pwc.com/gx/en/issues/cybersecurity/global-digital-trust-insights.html. Elaboração do autor.

O gráfico 10 mostra a amplitude de alvos e objetivos e a complexidade de ataques. Além disso, reflete o papel da cibersegurança no universo digital, ao envolver elementos como as pessoas, a cadeia de suprimentos, a nuvem computacional, as infraestruturas críticas, a desinformação, a propriedade intelectual e o furto de poder computacional, e engloba indivíduos, organizações de diferentes naturezas e tamanhos, além de países.

3 DIMENSÕES DA SEGURANÇA CIBERNÉTICA

A cibersegurança está se tornando cada vez mais complexa porque diferentes dimensões devem ser consideradas. Além dos diferentes vetores de ataques, com variados agentes de ameaças visando o ativo mais vulnerável, as ameaças envolvem a confidencialidade, a integridade e a disponibilidade, resultando em impactos diversos, que podem escalar e alcançar grandes proporções. Há escopos, focos, camadas e funções diferentes na cibersegurança.

3.1 Escopos da cibersegurança

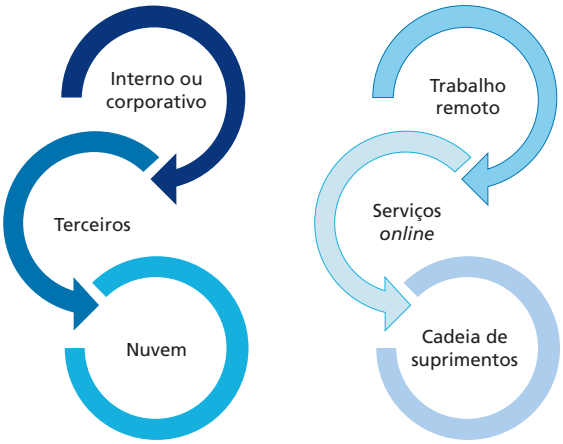
No universo digital, todos estão suscetíveis aos ataques cibernéticos. Um indivíduo, um cidadão aleatório de um país ou um colaborador de uma organização que possuem a sua identidade digital são alvos importantes, que devem ser considerados. A relevância das pessoas na cibersegurança é grande porque elas são, muitas vezes, utilizadas como entrada ou parte do fluxo de ataques cibernéticos em empresas, instituições ou organizações de diferentes tamanhos e setores.

Além das pessoas, há o parque tecnológico, que inclui sistemas, equipamentos ou plataformas que são alvos constantes de ataques cibernéticos. Adicionalmente, há os ativos físicos, que também representam riscos cibernéticos. O escopo da cibersegurança em uma empresa normalmente consiste em sua rede interna ou corporativa. Mas o provisionamento de serviços para clientes ou mesmo para os usuários internos já expande o escopo e, principalmente, a superfície de ataques.

Com o trabalho remoto, a cadeia de suprimentos e o uso intensivo de nuvem computacional, o ambiente se torna cada vez mais distribuído e heterogêneo, influenciando no escopo a ser trabalhado. Nesse ambiente, um incidente pode ocorrer na casa de um colaborador e se espalhar pela empresa, da mesma forma que a vulnerabilidade de uma aplicação no provedor de nuvem pode ser explorada em um ataque e os dados de todos os clientes, por exemplo, podem ser expostos. As possibilidades de ataques, que tiram proveito de uma superfície maior, aumentam e exigem uma estratégia de cibersegurança mais abrangente e complexa.

A figura 4 sintetiza os diferentes escopos que devem ser considerados em cibersegurança, sob o ponto de vista do contexto para a gestão dos riscos cibernéticos.

FIGURA 4
Escopos da cibersegurança

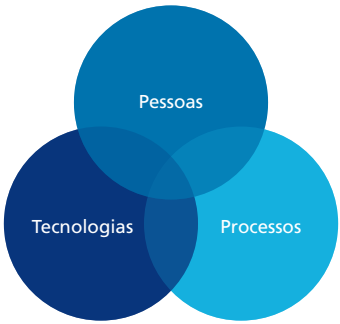


Elaboração do autor.

3.2 Focos da cibersegurança

Uma estratégia efetiva de cibersegurança deve considerar, além dos diferentes escopos, que são particulares para cada organização, os focos, que estão nas pessoas, nos processos e nas tecnologias (figura 5). Esses focos aparecem em diferentes elementos do risco cibernético, principalmente nos ativos e nos controles de segurança.

FIGURA 5
Focos da cibersegurança



Elaboração do autor.

Os ativos são os elementos que podem ter vulnerabilidades. Há aqueles físicos, mas também as pessoas, os processos e as tecnologias, que podem ser explorados em ataques cibernéticos. Não é suficiente tratar somente o foco tecnológico em cibersegurança, porque muitos ataques exploram o fator humano. Além disso, processos podem conter falhas ou vulnerabilidades em aspectos relacionados com as responsabilidades, atividades e pontos de controle. Os processos também envolvem diferentes áreas das organizações e todos os seus relacionamentos e interações que fazem parte dos negócios, incluindo entidades externas e a cadeia de suprimentos. Como a informação flui o tempo todo, os processos considerando a cibersegurança são imprescindíveis no universo digital.

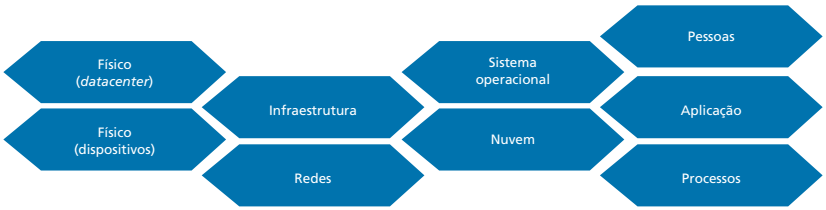
Os controles de segurança, que podem ser físicos, tecnológicos, humanos ou organizacionais, segundo a norma ABNT NBR ISO/IEC 27002 (ABNT, 2022b), devem ser assim definidos, de acordo com os riscos cibernéticos, para tratar dos diferentes focos.

3.3 Camadas da cibersegurança

A cibersegurança é complexa também devido às suas camadas, que devem ser tratadas e estão sempre em mudança. Agentes de ameaça podem explorar vulnerabilidades nas pessoas, nos processos e nas tecnologias. Da mesma maneira, há os elementos físicos, como as informações em papel ou em *hardware*, que podem ter a confidencialidade comprometida. E, na tecnologia, há as camadas de *software*,

como o sistema operacional, a infraestrutura, como virtualização, os serviços e as aplicações *web* ou móvel. Além disso, há a camada de redes ou de nuvem, que também representam riscos cibernéticos. Sendo assim, como um ataque a uma dessas camadas pode resultar em um incidente cibernético, elas devem ser tratadas de forma ampla e integrada. A figura 6 apresenta algumas camadas da cibersegurança que devem ser consideradas.

FIGURA 6
Camadas da cibersegurança

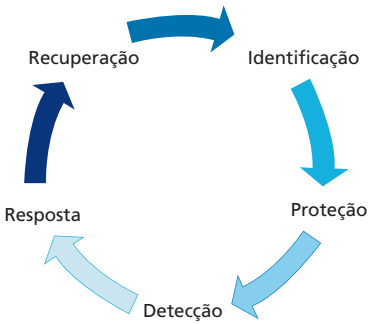


Elaboração do autor.

3.4 Funções da cibersegurança

As funções da cibersegurança envolvem as capacidades de identificação, proteção, detecção, resposta e recuperação, segundo o Nist Cybersecurity Framework, como pode ser visto na figura 7. Essas funções reforçam a visão de que as gestões de riscos cibernéticos, de segurança da informação e de continuidade de negócios devem ser trabalhadas de forma integrada. As capacidades de segurança estão aumentando a integração, o que tem solidificado o entendimento da complexidade da cibersegurança e a visão de que todos têm que procurar evitar incidentes, mas devem estar preparados para o caso de uma ocorrência, em uma perspectiva holística que consolida a resiliência cibernética.

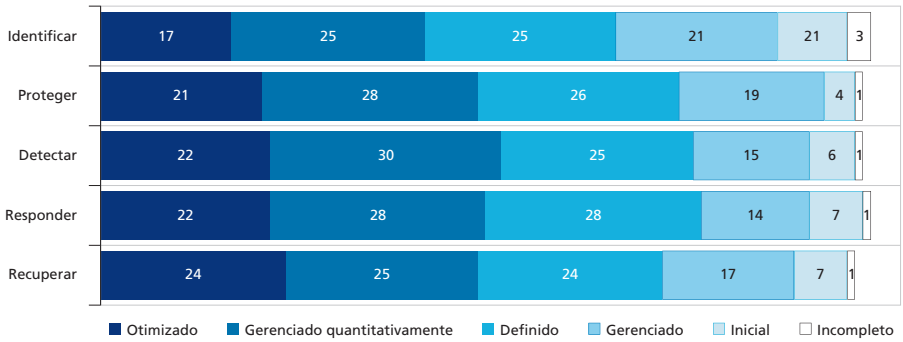
FIGURA 7
Funções ou capacidades da cibersegurança



Fonte: Nist, 2023. Disponível em: https://www.nist.gov/cyberframework.
Elaboração do autor.

Atualmente, poucas organizações atingiram um nível otimizado em todas as capacidades de cibersegurança. Apenas 3% dos que participaram da pesquisa realizada pela PwC estão com as funções de identificação, proteção, detecção, resposta e recuperação em nível otimizado, como pode ser visto no gráfico 11. A maioria está no nível gerenciado quantitativamente, muitas em nível definido, e uma quantidade menor no nível gerenciado. A minoria está em nível inicial ou incompleto, indicando que as ações em cibersegurança estão em andamento, mas com avanços necessários para elevar o nível de maturidade.

GRÁFICO 11
Nível de maturidade nas funções de cibersegurança
(Em %)



Fonte: PwC, 2023. Disponível em: https://www.pwc.com/gx/en/issues/cybersecurity/global-digital-trust-insights.html. Elaboração do autor.

4 DINAMISMO E EVOLUÇÃO DA CIBERSEGURANÇA

Além das dimensões da cibersegurança, há o dinamismo da própria evolução do mundo em que vivemos, seja no aspecto tecnológico, seja no da própria sociedade. As influências na velocidade dessa evolução são extremamente relevantes para a cibersegurança, porque um ataque emergente pode exigir que se tornem indisponíveis as operações ou o funcionamento da vítima, para que os controles de segurança adequados possam ser implantados e até mesmo desenvolvidos. Esse assincronismo entre os ataques e as proteções é decorrente de avanços tecnológicos, como a computação quântica e o uso intensivo de inteligência artificial, que alteram a dinâmica tradicional, sendo potencializado pelo uso de dados pessoais obtidos por vazamentos decorrentes de outros ataques.

4.1 Novas tecnologias, novos riscos

As novas tecnologias, como novos protocolos, serviços ou plataformas, de diferentes setores, são os pilares do universo digital, as quais viabilizam e criam

ondas de desenvolvimento econômico. Desde o surgimento dos computadores, passando pela internet, por *blockchain* e outras aplicações, os avanços têm possibilitado a fusão entre o físico e o digital (fidigital), o que reflete cada vez mais nos aspectos humanos. Os riscos cibernéticos vêm junto, potencializando os impactos na medida em que as interdependências aumentam.

O FEM cita avanços em inteligência artificial, computação quântica e biotecnologia, entre outras, como elementos que trazem novos riscos, relacionados à desinformação, ao enfraquecimento da soberania individual e do direito à privacidade, além de ataques às infraestruturas de agricultura, água, sistemas financeiros, segurança pública, transporte, energia e comunicações domésticas (FEM, 2023b).

Uma medida da dimensão do dinamismo dos novos riscos cibernéticos pode ser vista pelo breve histórico de códigos maliciosos, como vírus, *worms* e outros, com as principais características que mostraram a evolução, a seguir descritos.

1) 1971: Creeper, que não era malicioso.
2) 1974: Wabbit (Rabbit), que era malicioso e replicante.
3) 1975: Animal/Prevade, que era um cavalo de Troia, um código malicioso que aparentava ser legítimo.
4) 1986: Brain, que era um código malicioso de *boot*, em disquetes de 5.2 polegadas.
5) 1989: AIDS Trojan ou PC Cyborg, que pode ser considerado o primeiro *ransomware*. Foram 20 mil disquetes distribuídos na Conferência da Organização Mundial da Saúde, com a exigência de um resgate de US$ 189,00 para o Panamá, após noventa *boot*s. Escondia diretórios e cifrava nomes de arquivos no *drive* C.
6) 2000: LoveLetter/ILOVEYOU, que aplicou a engenharia social para a instalação de código malicioso.
7) 2001: Code Red, *worm* em memória que se espalhou rapidamente em todo o mundo conectado.
8) 2013: CryptoLocker, *ransomware* em anexo de *e-mails* que afetou cerca de 500 mil computadores e disponibilizava a chave de recuperação em um portal.
9) 2014: Heartbleed, código malicioso que explorava a implementação de um protocolo de segurança *web*, o OpenSSL.

10) 2014: Shade/Troldesh, *ransomware* que explorava o *phishing* como vetor de ataque e estabelecia uma comunicação direta com as vítimas, com possibilidade de negociações. Foi desativado em 2020, com o criador liberando 750 mil chaves em sinal de arrependimento.

11) 2016: Jigsaw, *ransomware* que apagava arquivos originais e substituía a extensão por .fun, .kkk, .gws e .btc. Utilizava um *cookie* como *timer* para os pagamentos.

12) 2016: Locky, *ransomware* que explorava o *phishing* e tinha como alvos profissionais de *software*, como arquitetos, desenvolvedores, engenheiros e testadores.

13) 2016-2017: Petya/GondenEye, *ransomware* que utilizava um *link* infectado do Dropbox e, uma vez instalado, aplicava criptografia no Master File Table (MFT) da vítima, o que a deixava sem acesso ao disco.

14) 2016: Mirai/DYN Attack, ataque DDoS a partir de dispositivos IoT, que paralisou a internet.

15) 2017: Bad Rabbit, *ransomware* que era instalado a partir de *websites* comprometidos (*malware dropper*).

16) 2017: WannaCry, *ransomware* que explorava vulnerabilidades do Windows e comprometeu cerca de 230 mil computadores, causando cerca de US$ 4 bilhões em prejuízos.

17) 2018: GandCrab, *ransomware* que ameaçava divulgar os hábitos de pornografia das vítimas. Um dos primeiros códigos maliciosos a partir do Ransomware as a Service (RaaS), em um modelo de atuação distribuído no qual o lucro está na criação dos códigos, que são usados para os ataques pelos clientes. Agências governamentais implementaram e disponibilizaram uma ferramenta de decifragem que devolvia o acesso aos dados cifrados e sequestrados.

18) 2018: Ryuk, *ransomware* que desabilitava a função de recuperação do Windows, atacando também os discos de rede.

19) 2019: Maze, *ransomware* que realizava a dupla extorsão, ou seja, além de cifrar os dados, promovia o seu vazamento, com ameaças de divulgação pública.

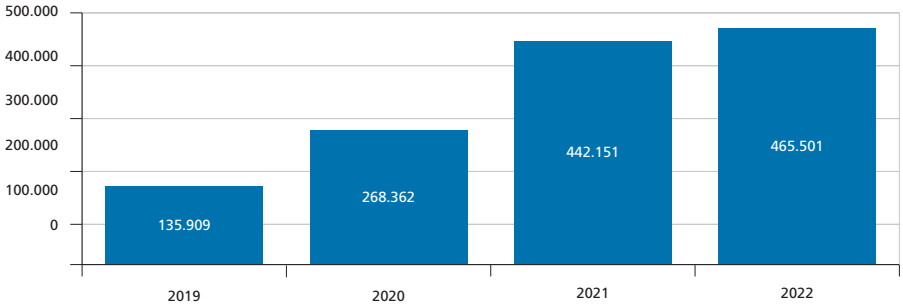
20) 2019: REvil/Sodinokibi, *ransomware* que afetou a cadeia de suprimentos a partir da contaminação de um *software* utilizado por outras empresas.

21) 2020: DarkSide, *ramsomware* direcionado a componentes da infraestrutura crítica.

Os ataques de *ransomware* continuam evoluindo, se tornando mais sofisticados e agregando outras técnicas de ataques para dificultar a sua detecção. O relatório *Global Threat Landscape Report* (FortiGuard Labs, 2023) apresenta algumas das técnicas mais adotadas. Adicionalmente, os atacantes têm utilizado a inteligência artificial para automação e efetividade das campanhas de ataques. Além disso, as extorsões cibernéticas, que começaram com pedidos de resgate para o acesso aos dados cifrados, passaram pelo resgate para não publicar dados vazados, em uma dupla extorsão. Recentemente, técnicas de DDoS também passaram a fazer parte dos ataques, paralisando mais criticamente as vítimas, em uma tripla extorsão. Uma quarta extorsão, com casos em que os criminosos entram em contato com clientes e parceiros das vítimas, também tem sido observada.

Adicionalmente, a integração entre grupos criminosos e tecnologias tende a possibilitar a evolução do grau de sofisticação dos ataques. O gráfico 12 mostra, por exemplo, o crescimento do número de códigos maliciosos (Sonicwall, 2023).

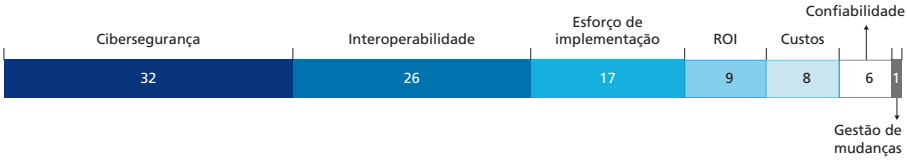
GRÁFICO 12
Crescimento da identificação de novos códigos maliciosos



Fonte: Sonicwall (2023).
Elaboração do autor.

Novas tecnologias trazem consigo novos riscos, incluindo os cibernéticos. Além disso, as integrações também incorporam complexidade, resultando em novas vulnerabilidades. A integração tecnológica com o universo físico, representada pela IoT ou a internet de tudo (*internet of everything* – IoE), mostra o potencial tecnológico e os riscos cibernéticos associados, que têm feito com que a segurança cibernética seja cada vez mais central no desenvolvimento de novos serviços, aplicações ou sistemas. Isso justifica o aumento contínuo dos investimentos na área. Uma pesquisa mostra (figura 8), de fato, que a cibersegurança é considerada o maior obstáculo para a adoção da IoT, maior do que a interoperabilidade, que esforços de implementação, retorno sobre o investimento (ROI), custos, confiabilidade e gestão de mudanças (Caso *et al.*, 2023).

FIGURA 8
Os maiores impeditivos para a adoção da IoT



Fonte: Caso *et al*. (2023).
Elaboração do autor.

O universo digital também traz implicações diretas na Indústria 4.0, na saúde digital, no governo digital e nas infraestruturas críticas. Nesses contextos, os impactos ultrapassam o mundo digital, chegando diretamente ao mundo físico, com paralisações de serviços essenciais e operações de fábricas, chegando às vidas humanas. As pessoas passam a ter riscos relacionados à vida a partir de ataques cibernéticos, decorrentes tanto da digitalização do setor de saúde quanto do uso de dispositivos de saúde conectados.

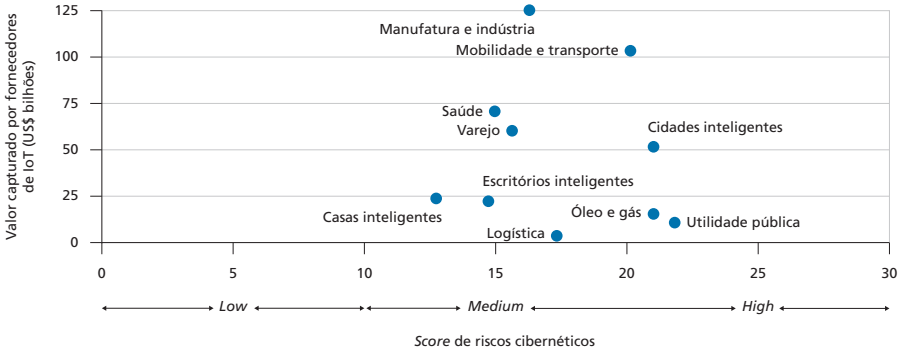
Outro escopo está nos países, com elementos cibernéticos sendo utilizados cada vez mais em conflitos e guerras como arma e no meio militar, com muitos dos países possuindo exércitos cibernéticos.

4.2 Segurança na Indústria 4.0

Os impactos relacionados aos incidentes cibernéticos fazem parte também das preocupações na Indústria 4.0. Um dos desafios relacionados à IoT eram as atualizações dos dispositivos para correções de vulnerabilidades, que poderiam tornar inviável o futuro de um produto. Na Indústria 4.0, as implicações ultrapassam fronteiras, já que os processos de produção estão distribuídos. Modelos, dados de personalização, composições de produtos e propriedade intelectual são transmitidos entre os componentes, e as fábricas passam a depender de tecnologias da informação e de comunicação, que precisam ser seguras.

A importância da cibersegurança na IoT, em diferentes casos de uso, se reflete nos valores capturados por fornecedores. O gráfico 13 apresenta uma projeção da relação entre os valores de cada caso de uso de IoT e os riscos cibernéticos esperados para 2030. A cibersegurança oferece um potencial maior de valor para setores com riscos cibernéticos mais altos. A Indústria 4.0 possui um valor maior do que outros casos de uso de IoT, com um índice de risco cibernético médio, enquanto os setores de utilidades públicas e de infraestrutura crítica de óleo e gás possuem risco cibernético alto, com valor menor para os fornecedores de IoT (Caso *et al.*, 2023).

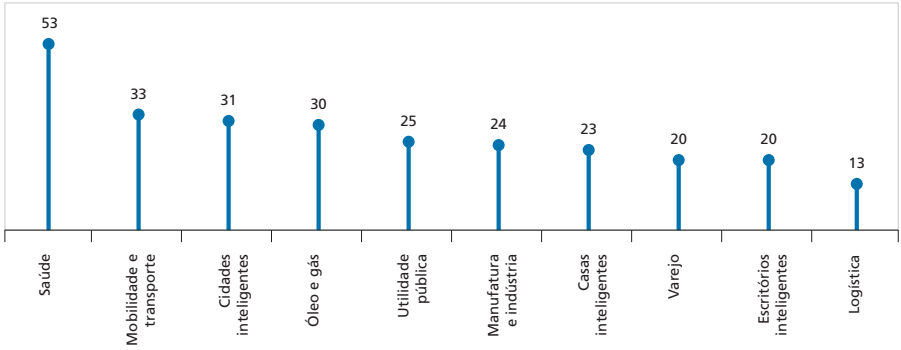
GRÁFICO 13
Valores e os riscos de cibersegurança em 2023 para IoT



Fonte: Caso *et al*. (2023).
Elaboração do autor.

Entender e gerenciar os riscos cibernéticos é fundamental, pois isso potencializa a adoção de IoT em diferentes casos de uso. O percentual de aumento de gastos em caso de maior segurança pode ser visto no gráfico 14, com o setor de manufatura e indústria tendo um aumento de gastos de 24%, enquanto a saúde possui um aumento de 53% (Caso *et al*., 2023).

GRÁFICO 14
Aumento em gastos com IoT em cada caso de uso devido à cibersegurança
(Em %)

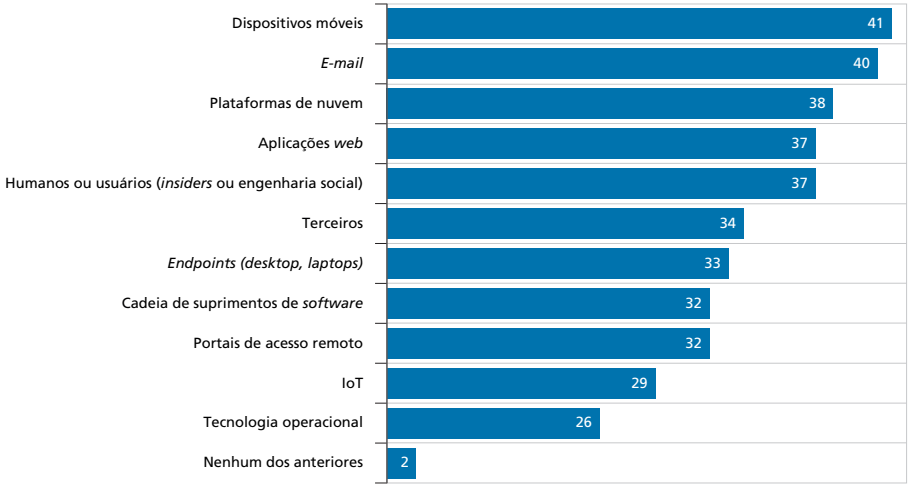


Fonte: Caso *et al*. (2023).
Elaboração do autor.

A necessidade de gerenciamento de riscos cibernéticos é reforçada pelos vetores de ataques, que incluem também a tecnologia operacional e IoT. Para 2023, 29% das organizações que participaram da pesquisa do PwC possuem expectativa de aumento dos ataques à IoT, enquanto 26% esperam ataques à tecnologia operacional (gráfico 15). A principal razão são as vulnerabilidades em sistemas

legados da indústria, potencializados pela cadeia de suprimentos e uso de IoT, que representam uma superfície de ataques maior. Há um destaque também para os dispositivos móveis, citado como o principal vetor de ataque, com 41% das organizações tendo essa preocupação para 2023. Além disso, o vetor humano é citado por 37% das organizações.

GRÁFICO 15
Expectativa de ataques em 2023 pelas organizações
(Em %)

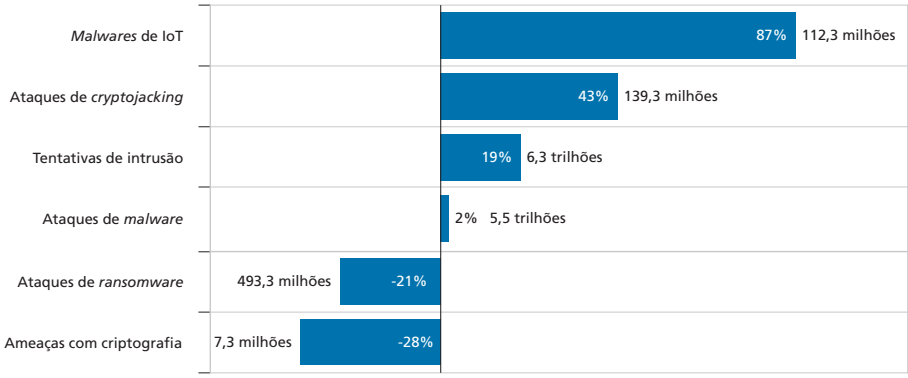


Fonte: PwC, 2023. Disponível em: https://www.pwc.com/gx/en/issues/cybersecurity/global-digital-trust-insights.html. Elaboração do autor.

Os esforços das organizações com relação à IoT e à tecnologia operacional estão relacionados a um conjunto de necessidades nas funções de segurança cibernética. Há a limitação da cibersegurança na cadeia de suprimentos, na capacidade de detecção e de resposta nesses ambientes, na falta de especialistas, na insuficiência de documentação e na ineficiência de recuperação do ambiente operacional após um incidente de segurança.

Essas limitações devem ser tratadas com urgência, pois o aumento do volume de *malware*s para IoT foi o mais significativo em 2022, se comparado com outras ameaças cibernéticas, incluindo os ataques de *ransomware*, de *malware*s, de *cryptojacking* e tentativas de intrusões. Os *malware*s de IoT tiveram um crescimento de 87% em 2022 se comparado com o ano anterior, com 112,3 milhões de incidências. As tentativas de intrusão também continuaram crescendo em 2022 (19%), como pode ser visto no gráfico 16 (Sonicwall, 2023).

GRÁFICO 16
Panorama das ameaças cibernéticas em 2022



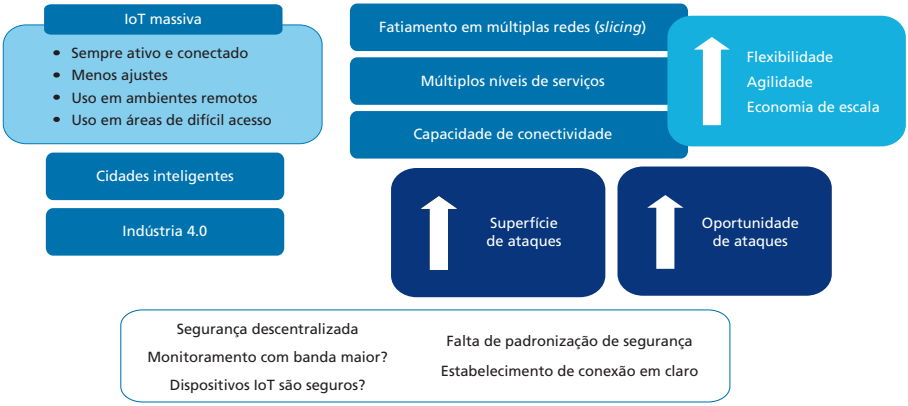
Fonte: Sonicwall (2023).
Elaboração do autor.

4.3 Segurança em 5G

Mesmo com as redes de comunicação tendo sido consolidadas no aspecto de segurança cibernética, principalmente com a proteção de perímetros, os avanços tecnológicos continuam acontecendo, trazendo consigo novas implicações de segurança. Se tradicionalmente os principais riscos nas redes estão relacionados à DDoS e ao acesso indevido aos dados em transmissão, novas tecnologias, como a 5G, incorporam novos desafios. As integrações e as migrações que exigem uma coexistência tecnológica entre gerações diferentes já trazem complexidades que criam condições para novas vulnerabilidades. Além disso, as características da 5G, como a conectividade permanente, maior responsividade, maior confiabilidade de conexão, IoT com maior número de dispositivos, menor consumo de energia e maior largura de banda, representam uma superfície de ataque mais extensa que pode ser explorada, principalmente como meio para um ataque maior e direcionado.

A IoT massiva e a viabilização de casos de uso, como cidades inteligentes e Indústria 4.0, criam condições para a conectividade em ambientes remotos, em áreas de difícil acesso e com conexão sempre ativa. Criam também uma oportunidade para os ataques cibernéticos, como pode ser visto na figura 9. Os desafios de cibersegurança envolvem o tratamento de aspectos específicos das redes 5G, tais como a descentralização e a distribuição de componentes, uma largura de banda maior, a diversidade de dispositivos IoT, a falta de padronização de segurança e o estabelecimento de conexões em claro, sem uma proteção de confidencialidade. São desafios que exigem uma abordagem de segurança cibernética holística, com estratégia, processos, arquitetura, capacidades e tecnologias de segurança complementares e integradas, que também direcionam os avanços necessários no setor.

FIGURA 9
Características de redes 5G e as implicações de segurança

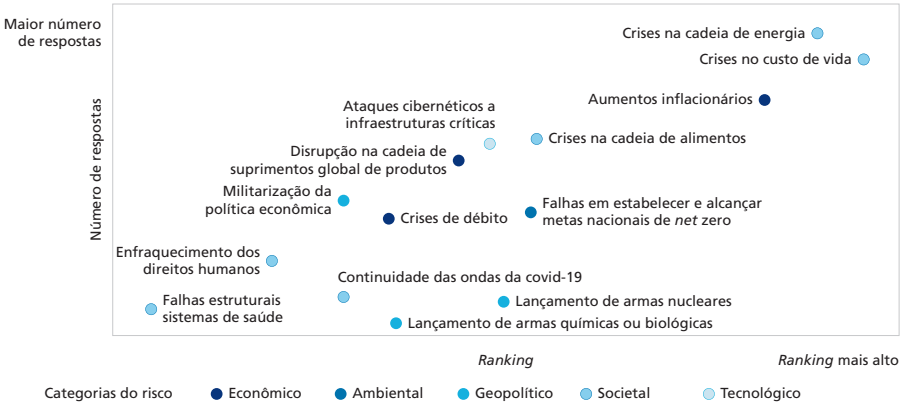


Elaboração do autor.

4.4 Proteção de infraestrutura crítica

A segurança cibernética possui um papel fundamental também no escopo dos países: com os avanços gerados pela digitalização, proporcionou o estabelecimento de uma área particular, a proteção de infraestrutura crítica. Os ataques cibernéticos às infraestruturas críticas são considerados um dos principais riscos globais de 2023, segundo o FEM, como pode ser visto no gráfico 17 (FEM, 2023b), que sintetiza a visão de cerca de 1.200 especialistas, que responderam sobre os cinco principais riscos. Os riscos globais envolvem riscos econômicos, ambientais, geopolíticos, societais e tecnológicos.

GRÁFICO 17
Ataques cibernéticos a infraestruturas críticas são um dos principais riscos globais



Fonte: WEF (2023b).
Elaboração do autor.

No Brasil, a definição de infraestruturas críticas vem do Decreto nº 9.573 (Brasil, 2018b), que estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Infraestruturas Críticas, complementada pelo Decreto nº 10.569, que define a Estratégia Nacional de Segurança de Infraestruturas Críticas (Brasil, 2020b). As infraestruturas críticas são instalações, serviços, bens e sistemas cuja interrupção ou destruição, total ou parcial, provoca sério impacto social, ambiental, econômico, político, internacional ou à segurança do Estado e da sociedade. Além disso, a segurança das infraestruturas críticas é um conjunto de medidas, de caráter preventivo e reativo, destinadas a preservar ou restabelecer a prestação dos serviços relacionados a essas infraestruturas.

As infraestruturas críticas estão associadas, assim, a setores críticos, sob o ponto de vista dos países, em que incidentes de diferentes naturezas podem resultar em impactos para a população, principalmente devido à interrupção de serviços essenciais. No Brasil, as áreas de águas, energia, transporte, comunicações, finanças, biossegurança e bioproteção e defesa fazem parte das infraestruturas críticas, de acordo com o Decreto nº 11.200 (Brasil, 2022), que estabelece o Plano Nacional de Segurança de Infraestruturas Críticas.

Um dos elementos do plano nacional é a capacidade de resposta a incidentes cibernéticos, com a necessidade de uma estrutura capaz de minimizar os impactos decorrentes de ataques. A Rede Federal de Gestão de Incidentes Cibernéticos, instituída pelo Decreto nº 10.748 (Brasil, 2021), tem a finalidade de aprimorar e manter a coordenação entre órgãos e entidades da administração pública federal direta, autárquica e fundacional para prevenção, tratamento e resposta a incidentes cibernéticos, de modo a elevar o nível de resiliência em segurança cibernética de seus ativos de informação.

5 O FATOR HUMANO NA SEGURANÇA CIBERNÉTICA

As pessoas representam, cada vez mais, o elo mais fraco da segurança cibernética. Seja como alvo principal dos ataques que vêm ocorrendo em todo o mundo, em diferentes contextos, seja na incorporação de conceitos de segurança cibernética no desenvolvimento tecnológico, o fator humano possui o foco para se criar um universo digital mais seguro.

5.1 Vulnerabilidades humanas exploradas em ataques cibernéticos

O gráfico 18 mostra o nível de preocupação com os ataques cibernéticos (Sonicwall, 2022), e nele é possível observar que a grande maioria dos ataques possui relação com a exploração de vulnerabilidades humanas. Os ataques envolvem aspectos humanos, que são explorados em *phishing*, *ransomware*, vazamentos de dados e de *e-mails* corporativos, e ataques relacionados à cadeia de suprimentos, à

espionagem interna e a falhas no uso de criptografia de mensagens e informações. Da lista de preocupações, todas envolvem o fator humano.

GRÁFICO 18
Nível de preocupação sobre tipos de ataques cibernéticos
(Em %)

Fonte: Sonicwall (2022).
Elaboração do autor.

O elemento humano sempre teve papel relevante em ataques cibernéticos e continua direcionando os vazamentos de dados. Em 2022, 82% dos vazamentos envolveram o elemento humano, nas credenciais roubadas, em *phishing*, no mau uso de recursos ou em erros (Verizon, 2022). Nesses ataques, são exploradas vulnerabilidades humanas, como a curiosidade ou a empatia, que fazem com que uma mensagem com *phishing* seja aberta, ou a ganância, a desatenção ou a preguiça, que fazem com que as credenciais de acesso caiam na mão de criminosos.

5.2 Conscientização, treinamento e cultura de segurança da informação

A educação, em todos os sentidos, deve incorporar, cada vez mais, os riscos cibernéticos, já que a distância entre a vida digital e a realidade tende a desaparecer. A segurança cibernética, assim, deve ser um dos requisitos para a educação de cada indivíduo, desde cedo. Preservar e cuidar da identidade digital, que representa o próprio indivíduo nas suas atividades cotidianas, é primordial. As fraudes e ataques de *phishing*, que podem levar ao roubo de identidades e à inserção de códigos maliciosos com impactos ainda mais diretos, devem ser tratados com programas de conscientização em segurança da informação e fazer parte da educação de todos. Saber como lidar com as situações no universo digital é fundamental para a formação de cidadãos conscientes e educados sobre a segurança cibernética. Esse é o início do fortalecimento de uma cultura de segurança da informação.

O desenvolvimento tecnológico, de produtos a sistemas e aplicações, também deve ser feito, de uma forma essencial, com uma visão de segurança

cibernética, ou seja, de maneira a não criar condições de serem atacados, com o mínimo de vulnerabilidades. E isso exige cada vez mais uma visão de segurança de profissionais de diferentes áreas, para que o processo de desenvolvimento tecnológico incorpore a segurança, resultando em produtos e serviços mais confiáveis e menos suscetíveis a ataques cibernéticos. O treinamento em segurança da informação, desse modo, é fundamental para todos os profissionais.

Como toda cultura, a de segurança e privacidade também é desafiadora, incluindo elementos como hábitos, conhecimento e habilidades, além das crenças (figura 10). O fortalecimento de culturas passa por ações que reforçam os hábitos e crenças, incrementando ainda o conhecimento e as habilidades constantemente.

FIGURA 10
Elementos da cultura de segurança da informação

Elaboração do autor.

5.3 Complexidade da segurança eleva a necessidade de especialistas

No início da internet, o profissional de segurança precisava se preocupar mais fortemente com os aspectos de redes de computadores, que possibilitavam a conectividade e exigiam arquiteturas seguras com perímetros, zonas desmilitarizadas (*demilitarized zones* – DMZs), redes privadas virtuais (*virtual private networks* – VPNs) e *firewalls*. Os processos eram importantes para manter o ambiente atualizado e livre de vulnerabilidades. Além desse perfil de segurança de redes, havia o perfil para a gestão de identidades e controle de acesso, que tratava dos usuários, nas primeiras versões das identidades digitais.

Com a evolução da internet, o advento de novas plataformas e serviços, os ambientes mais distribuídos com a nuvem computacional e as camadas tecnológicas

com integrações cada vez maiores com diferentes componentes, a segurança cibernética também passou a ser feita por equipes especializadas e multidisciplinares. Atualmente, há diferentes perfis profissionais para a segurança cibernética.

Há perfis técnicos, como o de segurança de redes e o de segurança de TI. Os profissionais que analisam riscos cibernéticos e vulnerabilidades podem ser considerados analistas de segurança ofensiva, realizando ações como testes de penetração em sistemas, plataformas e ambientes. Esses profissionais são também conhecidos como integrantes de Red Team. Os profissionais que trabalham com arquiteturas de segurança e definição e implantação de controles de segurança fazem parte da segurança defensiva ou do Blue Team. Existem, por sua vez, os profissionais de cibersegurança que trabalham especificamente com controle de acesso, enquanto outros trabalham com segurança nas aplicações, ou desenvolvimento seguro. Há ainda os especialistas em criptografia e os analistas de operações de segurança. Todas as capacidades de segurança cibernética, que envolvem identificação, proteção, detecção, resposta e recuperação, podem ter perfis específicos de profissionais. O profissional de resposta a incidentes complementa os demais perfis, tratando diretamente dos ataques cibernéticos que já aconteceram, após a exploração de vulnerabilidades pelos agentes de ameaça.

Como a segurança cibernética é holística, há também os perfis que não são essencialmente tecnológicos, como os de governança, riscos e conformidade, que implementam os sistemas de gestão de riscos, de segurança da informação e de continuidade de negócios. Outro perfil, cada vez mais necessário, é o de profissionais especializados em conscientização de usuários. Processos e políticas de segurança podem igualmente envolver profissionais específicos, bem como para a gestão de projetos de segurança cibernética.

No universo digital, com as integrações em diferentes níveis e com o advento de novas tecnologias, as atividades de cibersegurança se tornaram mais complexas e mais intensas. A questão da velocidade dos avanços tecnológicos, das necessidades de segurança e da capacidade de atendimento a essas necessidades revelou uma assimetria que resulta no crescimento do número de incidentes cibernéticos e fica evidente no âmbito dos recursos humanos especializados.

O International Information System Security Certification Consortium (ISC2) estima que a força de trabalho em segurança cibernética seja de 4,6 milhões no mundo todo, sendo que no Brasil há 687 mil profissionais especializados. O déficit de profissionais é de 3,4 milhões em todo o mundo, sendo de 312 mil no Brasil. Esses números podem ser vistos na figura 11 (ISC2, 2022). Os Estados Unidos são o país com maior número de profissionais de cibersegurança, com mais 1,2 milhão. O déficit nos Estados Unidos é de cerca de 410 mil profissionais. Os países

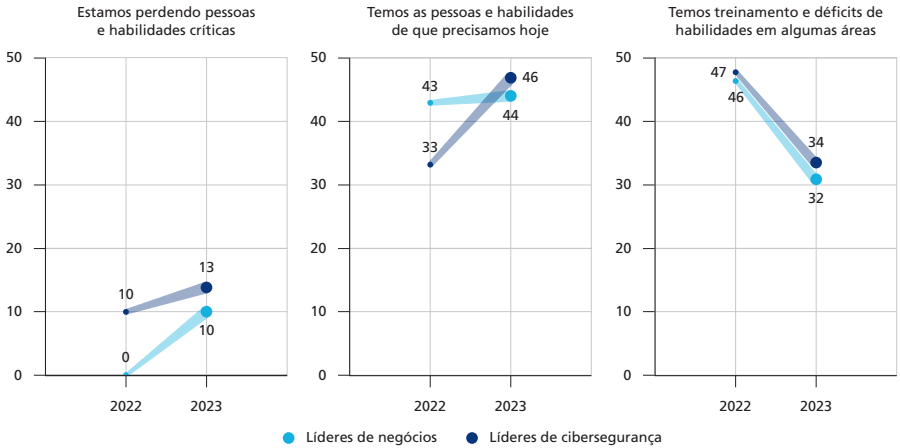
que possuem maiores déficits são a China, com 1,4 milhão, e a Índia, com cerca de 560 mil profissionais especializados faltando.

FIGURA 11
Força de trabalho em cibersegurança no mundo e no Brasil

Fonte: ISC2 (2022).
Elaboração do autor.

A complexidade da cibersegurança e os desafios de negócios têm aproximado as visões entre os líderes de negócios e os especialistas. Estudo do FEM (2023a) mostra que há a preocupação com as habilidades e as capacidades de cibersegurança (gráfico 19), sendo que a diferença de visões entre os líderes de negócios e os de cibersegurança diminuiu. O maior alinhamento é imprescindível para que o problema de competências em segurança e privacidade sejam tratados adequadamente.

GRÁFICO 19
Visões sobre habilidades e capacidades de cibersegurança
(Em %)

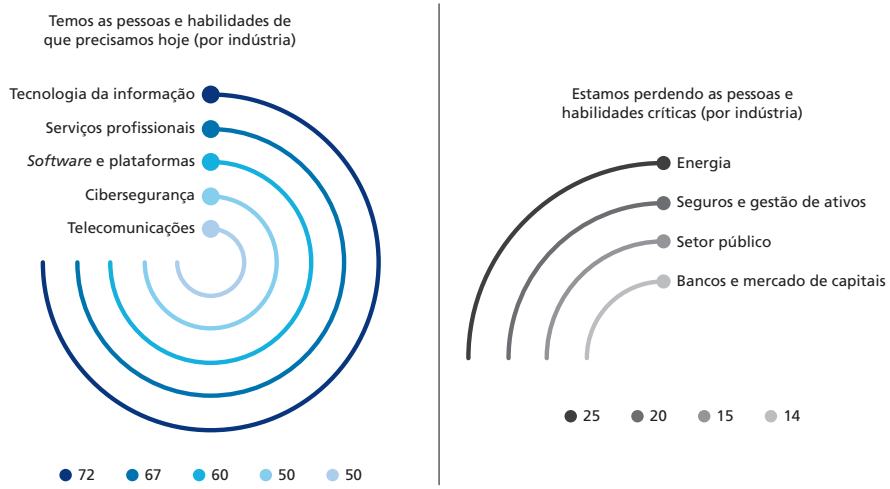


Fonte: WEF (2023a).
Elaboração do autor.

O desenvolvimento de competências em cibersegurança é essencial e um desafio global, e seu tamanho varia de acordo com o setor. Há aqueles que sofrem mais ou menos ataques cibernéticos, bem como aqueles que estão em estágios

diferentes de maturidade, que se refletem nos esforços necessários, incluindo os de investimentos. A figura 12 apresenta essa diferença existente em setores, com 72% do setor de tecnologia de informação possuindo as pessoas e habilidades de cibersegurança necessárias atualmente, enquanto 25% do setor de energia passa por perda de pessoas e habilidades críticas de cibersegurança (FEM, 2023a).

FIGURA 12
Setores com lacunas em cibersegurança



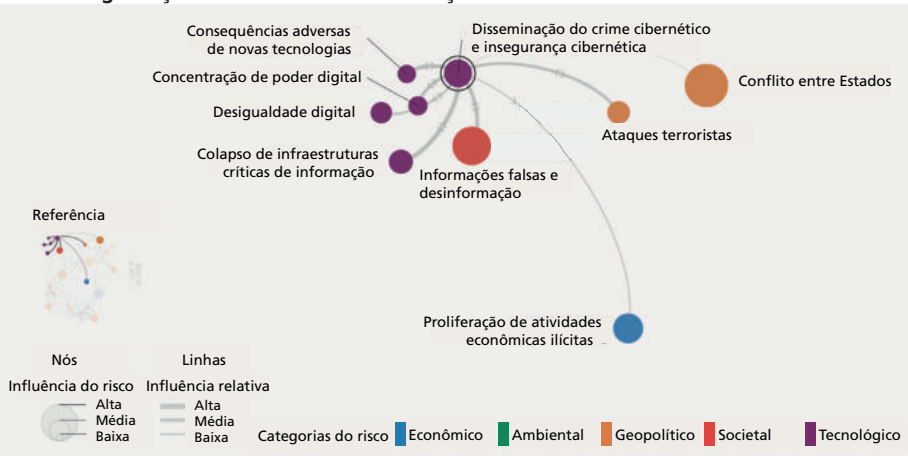
Fonte: WEF (2023a).
Elaboração do autor.

6 TENDÊNCIAS E ESTRATÉGIA PARA O FATOR HUMANO NA SEGURANÇA CIBERNÉTICA

No universo digital, vem ocorrendo um aumento do número de incidentes cibernéticos, ataques cada vez mais sofisticados e impactos cada vez maiores, que se espalham por diferentes atores na medida em que crescem a interdependência e a cadeia de suprimentos. Com uma superfície de ataques cada vez maior e distribuída, a complexidade da cibersegurança repercute em diferentes dimensões, relacionadas ao escopo, ao foco, às camadas e às funções de segurança cibernética.

A importância da segurança cibernética tende a crescer ainda mais, refletindo em outros contextos. Isso pode ser observado no fortalecimento das interconexões com outros riscos a partir dos riscos cibernéticos. A figura 13 mostra que a insegurança cibernética pode levar a conflitos, ataques terroristas, desinformação, colapso de infraestruturas críticas, concentração de poder digital, desigualdade digital e impactos tecnológicos negativos (FEM, 2023b).

FIGURA 13
Insegurança cibernética e as inter-relações



Fonte: WEF (2023b).
Elaboração do autor.

A complexidade da cibersegurança exige cada vez mais ações organizadas, integradas e holísticas. Adicionalmente, a velocidade das necessidades e dos avanços digitais tem criado um descompasso que se reflete nos ataques cibernéticos que exploram o vetor humano e, adicionalmente, resultam em déficit global de profissionais especializados em cibersegurança. Nesse cenário, duas principais tendências devem ser consideradas: o desenvolvimento tecnológico em cibersegurança e o desenvolvimento de competências e capacidades de segurança cibernética.

O fator humano em cibersegurança vem sendo tratado como política pública e de Estado em muitos países. No Brasil, há a Estratégia Nacional de Segurança Cibernética – E-Ciber (Brasil, 2020a), estabelecida pelo Decreto nº 10.222, de 5 de fevereiro de 2020, que é oriunda do Decreto nº 9.637, de 26 de dezembro de 2018, que instituiu a Política Nacional de Segurança da Informação (PNSI) (Brasil, 2018c). A PNSI priorizou a segurança cibernética como o primeiro módulo a ter a sua estratégia elaborada, que terá sequência com a defesa cibernética, a segurança das infraestruturas críticas, a segurança da informação sigilosa e a proteção contra vazamento de dados.

A E-Ciber define como visão para o Brasil que se torne um país de excelência em segurança cibernética, com objetivos de: i) tornar o Brasil mais próspero e confiável no ambiente digital; ii) aumentar a resiliência brasileira às ameaças cibernéticas; e iii) fortalecer a atuação brasileira em segurança cibernética no cenário internacional. As ações envolvem: i) governança cibernética; ii) modelo

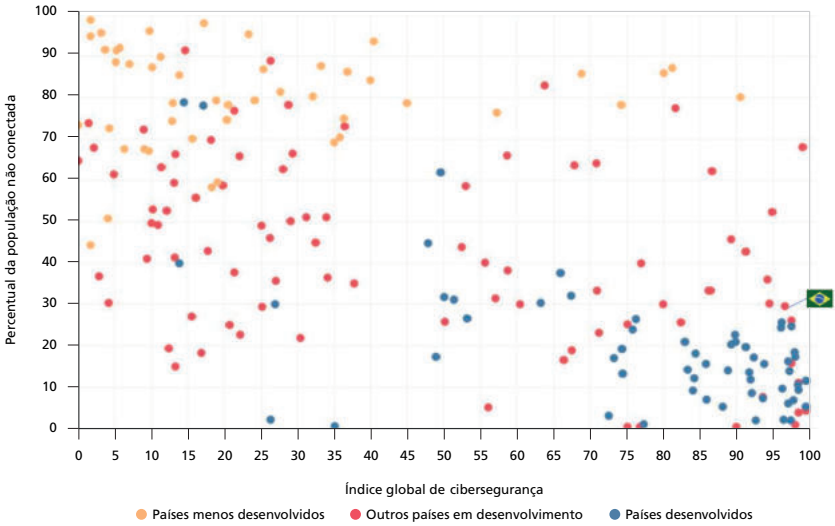
centralizado de governança no âmbito nacional; iii) promoção de um ambiente participativo, colaborativo, confiável e seguro, entre setor público, setor privado e sociedade; iv) elevação do nível de proteção do governo; v) elevação do nível de proteção das Infraestruturas Críticas Nacionais; vi) aprimoramento do arcabouço legal sobre segurança cibernética; vii) incentivo à concepção de soluções inovadoras em segurança cibernética; viii) ampliação da cooperação internacional do Brasil em segurança cibernética; ix) ampliação da parceria, em segurança cibernética, entre setor público, setor privado, academia e sociedade; e x) elevação do nível de maturidade da sociedade em segurança cibernética.

A E-Ciber busca proporcionar às infraestruturas críticas maior resiliência, visando à contínua prestação de serviços essenciais, por meio de iniciativas que envolvem a interação entre as agências reguladoras de infraestruturas críticas, adoção de ações de segurança cibernética pelas infraestruturas críticas, políticas de segurança cibernética, equipes de resposta a incidentes, notificação de incidentes cibernéticos ao CTIR Gov e exercícios cibernéticos.

O fator humano em cibersegurança também faz parte do Índice Global de Cibersegurança (Global Cybersecurity Index – CGI), que é medido pela International Telecommunication Union (ITU) e engloba 194 países, considerando medidas legais, técnicas, organizacionais, de desenvolvimento de capacidades e de cooperação (ITU, 2020). O CGI reforça o papel dos países em cibersegurança, principalmente porque, no universo digital, tudo está interligado, e os avanços econômicos e sociais dependem cada vez mais do gerenciamento apropriado dos riscos cibernéticos.

É importante notar que a superfície de ataque, que se inicia com a conectividade, direciona as ações dos países, indicando o papel das nações na construção de pilares que envolvem uma política em cibersegurança e estrutura de apoio às organizações. Há, assim, uma correlação direta entre a conectividade e a cibersegurança. O gráfico 20 mostra que os países com maiores índices globais de cibersegurança são aqueles que possuem a maior parte da população conectada. A maioria dos países desenvolvidos possui um alto índice de cibersegurança e de população conectada. Já entre os países em desenvolvimento, há um equilíbrio entre os dois índices, com países com percentual da população desconectada média ou alta possuindo um bom CGI e vice-versa. Entre os países pouco desenvolvidos, há o desafio de conectar a população, o que se reflete nos índices globais de cibersegurança mais baixos.

GRÁFICO 20
Relação entre conectividade e o CGI



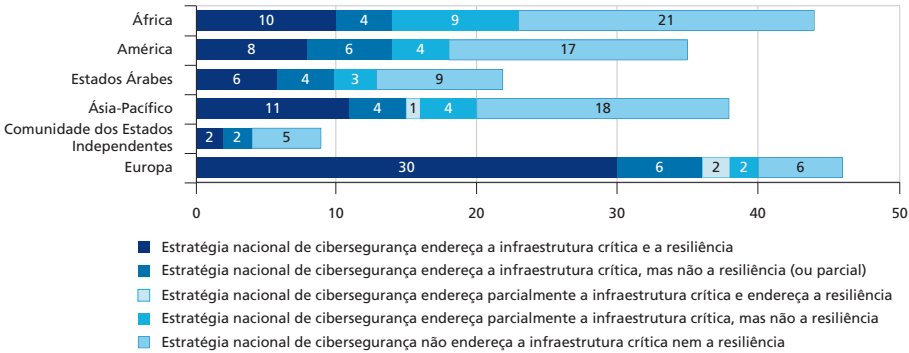
Fonte: ITU (2020).
Elaboração do autor.

A E-Ciber do Brasil trata das questões relevantes e é um exemplo das estratégias nacionais de cibersegurança (National Cybersecurity Strategy – NCS), que possuem uma visão de proteção dos serviços essenciais que são providos para a sociedade, tratando principalmente da proteção de infraestrutura crítica e da resiliência, visando minimizar as interrupções dos serviços e proporcionar o retorno mais efetivo às operações. O gráfico 21 mostra que os países europeus estão mais avançados nas estratégias nacionais de cibersegurança, mas ainda é grande o número de países, em todos os continentes, que não tratam da infraestrutura crítica e da resiliência.

A figura 14 mostra que 95% dos usuários de internet estão em países que possuem uma estratégia nacional de cibersegurança e uma Equipe de Prevenção, Tratamento e Resposta a Incidentes Cibernéticos (Etir), ou Computer Security Incident Response Team (CSIRT), nacional. O Brasil está entre os países com maior número de usuários de internet (Morgan, 2019) e possui uma estratégia nacional de cibersegurança (Brasil, 2020a) e CSIRTs nacionais, como o Centro de Atendimento a Incidentes de Segurança (Cais), o Centro de Estudos, Resposta e Tratamento de Incidentes de Segurança no Brasil (Cert.br) e o Centro de Prevenção, Tratamento e Resposta a Incidentes Cibernéticos de Governo (CTIR Gov).[2]

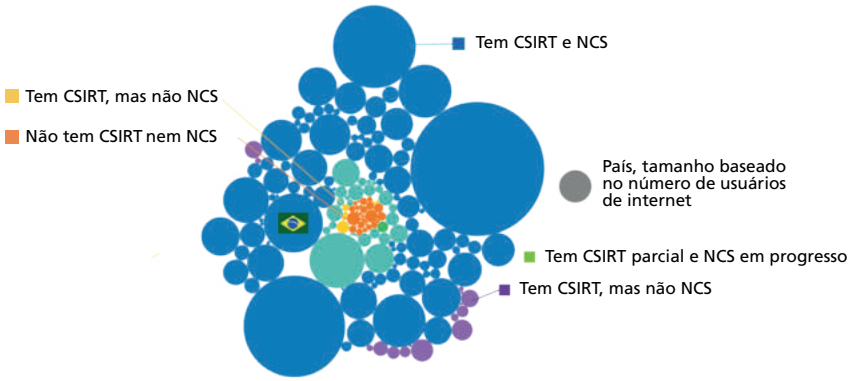
2. Disponíveis em: https://cais.rnp.br; https://cert.br; e https://www.gov.br/ctir.

GRÁFICO 21
Número de países que tratam a infraestrutura crítica e a resiliência cibernética



Fonte: ITU (2020).
Elaboração do autor.

FIGURA 14
Relação entre usuários de internet e estruturação de resposta a incidentes e estratégia nacional



Fonte: ITU (2020).
Elaboração do autor.

A estratégia nacional de cibersegurança é um fator importante para que os países tenham um CSIRT nacional, como mostra a tabela 2, que indica um relacionamento direto com um grande número de países que não possuem a estratégia nacional, portanto também não apresentam um CSIRT.

A construção de uma estratégia nacional de cibersegurança e a sua execução, com os mecanismos adequados para o tratamento das dimensões da cibersegurança, abrange aspectos multidisciplinares e exige capacidades especializadas e um trabalho integrado. Os desafios passam ainda pelo desenvolvimento de cooperações e parcerias internacionais, visando à construção conjunta de capacidades,

competências, conscientização, recursos tecnológicos, processos, mecanismos e medidas para gerenciar os riscos cibernéticos, incluindo a prevenção contra os ataques e a resposta adequada em caso de incidentes de segurança.

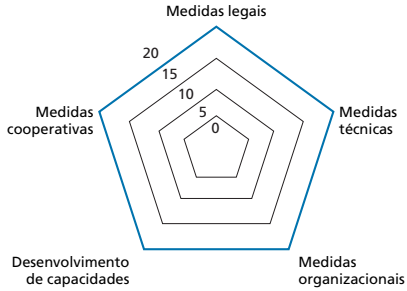
TABELA 2
Relação entre estratégia nacional de cibersegurança e estruturação de resposta a incidentes

	Possui NCS (países)	NCS em andamento ou > 5 anos (países)	Não possui NCS (países)
CSIRT nacional	90	29	18
Não possui CSIRT nacional	7	1	49

Fonte: ITU (2020).
Elaboração do autor.

De acordo com o CGI, o Brasil está em 18º lugar entre 184 países, sendo o terceiro nas Américas, atrás de Estados Unidos e Canadá. O Brasil é um país em desenvolvimento, com força nas medidas legais e potencial de crescimento nas medidas técnicas e organizacionais. No desenvolvimento de capacidades, que mede as campanhas de conscientização, treinamentos, educação e incentivos para criar capacidades de segurança cibernética, são avaliadas as iniciativas, os programas de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em cibersegurança e a existência de uma indústria nacional em segurança. A composição do CGI do Brasil pode ser vista na figura 15 (ITU, 2020).

FIGURA 15
Composição do CGI do Brasil



Nível de desenvolvimento: país em desenvolvimento

Área(s) de força relativa: medidas legais

Área(s) com potencial de crescimento: medidas técnicas e organizacionais

Índice geral	Medidas legais	Medidas técnicas	Medidas organizacionais	Desenvolvimento de capacidades	Medidas cooperativas
96.60	20.00	18.73	18.98	19.48	19.41

Fonte: ITU (2020).
Elaboração do autor.

Além do CGI, há outros índices, tais como o National Cyber Security Index (NCSI) e o Cybersecurity Exposure Index (CEI). Neles, o Brasil está em uma posição inferior, se comparado ao CGI. No NCSI, o Brasil está em 71º, com índice de 51,95 de possíveis 100. O NCSI utiliza dados públicos para a composição do índice e considera elementos como política de segurança cibernética, análise de ameaças cibernéticas, educação e desenvolvimento profissional, contribuição para a cibersegurança global, proteção de serviços digitais, proteção de serviços essenciais, serviços de confiança e identificação digital, proteção de dados pessoais, resposta a incidentes cibernéticos, gerenciamento de crises cibernéticas, medidas contra crimes cibernéticos e operações cibernéticas militares.[3]

No CEI, o Brasil ocupa a 46ª posição no *ranking* global e o quinto lugar na América do Sul, atrás de Uruguai, Paraguai, Chile e Argentina. No entanto, esse índice utiliza uma métrica diferente do CGI, considerando dados sobre *malware*, *ransomware*, mineração de criptomoedas, ataques relacionados a provedores de nuvem e nível de comprometimento com cibersegurança, de 2018 a 2020.[4]

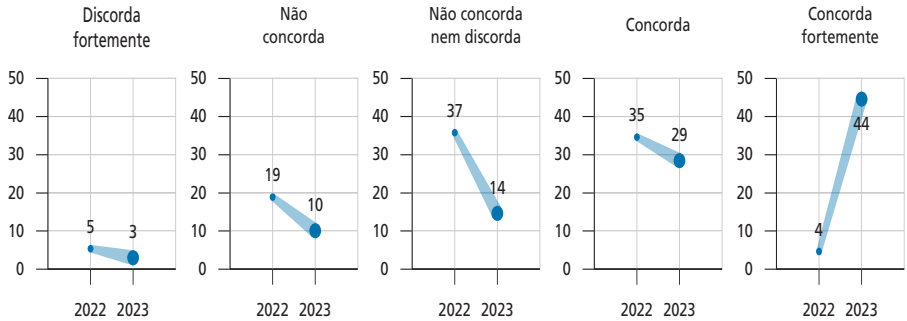
As medidas legais possuem uma importância em cibersegurança, ao promoverem um direcionamento das ações, principalmente na priorização feita por organizações de diferentes naturezas. O Brasil conta com a Estratégia Nacional de Segurança Cibernética (Brasil, 2020a), a Política Nacional de Segurança da Informação (Brasil, 2018c), a Política Nacional de Segurança de Infraestruturas Críticas (Brasil, 2018b), a LGPD (Brasil, 2018a) e outros decretos relacionados ao Plano Nacional de Segurança de Infraestruturas Críticas (Brasil, 2022) e à Rede Federal de Gestão de Incidentes Cibernéticos (Brasil, 2021), que têm pautado um conjunto de ações importantes para a evolução da cibersegurança no país.

A relevância das medidas legais pode ser conferida no relatório do FEM, que abordou o panorama global em segurança cibernética (FEM, 2023a) e indicou que tem aumentado o entendimento de que o arcabouço regulatório em cibersegurança e privacidade é um elemento efetivo para melhorar a resiliência cibernética com o tratamento dos riscos, como apresentado no gráfico 22.

Um exemplo de medida regulatória envolve os incidentes de segurança à infraestrutura crítica e IoT industrial nos Estados Unidos. O Cyber Incident Reporting for Critical Infrastructure Act of 2022 (CIRCIA) estabelece que organizações em dezesseis infraestruturas críticas devem reportar ataques cibernéticos e vazamentos em até 72 horas, e 24 horas para qualquer pagamento de *ransomware* feito (Cisa, 2022).

3. Disponível em: https://ncsi.ega.ee.
4. Disponível em: https://passwordmanagers.co/cybersecurity-exposure-index/.

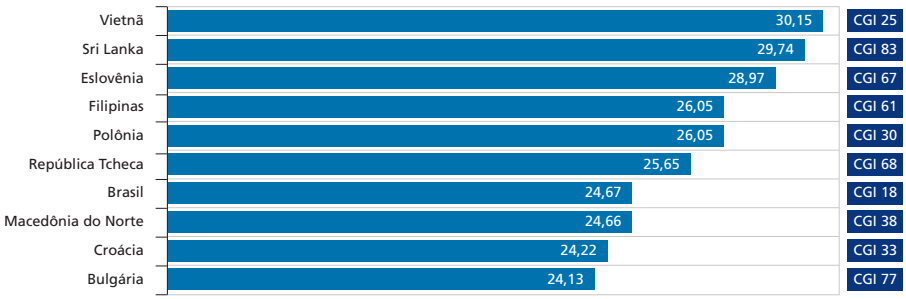
GRÁFICO 22
O papel do arcabouço regulatório para o tratamento dos riscos cibernéticos
(Em %)



Fonte: WEF (2023a).
Elaboração do autor.

Em 2022, o Brasil continuou entre os países com maiores chances de serem alvos de códigos maliciosos (Sonicwall, 2023). Como os principais vetores de ataques relacionados a códigos maliciosos envolvem o fator humano, as campanhas e os alvos nesses países indicam que há a necessidade de conscientização e fortalecimento de uma cultura de segurança cibernética. Os principais países podem ser vistos no gráfico 23, juntamente com a posição no *ranking* do CGI.

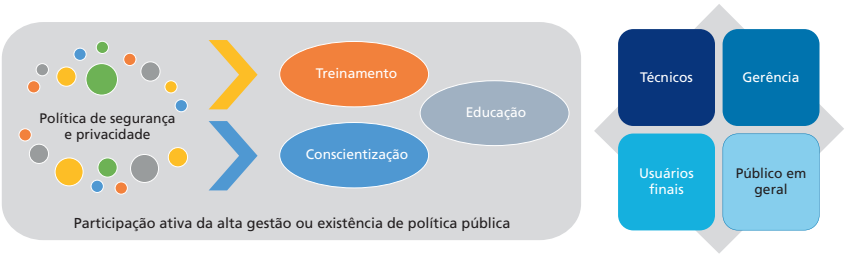
GRÁFICO 23
Países com maiores chances de serem alvos de um *malware*
(Em %)



Fonte: Sonicwall (2023); ITU (2020).

O fortalecimento geral de uma cultura de segurança e privacidade exige a formalização de políticas que direcionam ações de treinamento, conscientização e educação para diferentes perfis, da população em geral até a alta gestão, passando pelos profissionais técnicos e usuários das empresas, organizações e órgãos, como mostra a figura 16.

FIGURA 16
Fortalecimento de cultura de segurança e privacidade

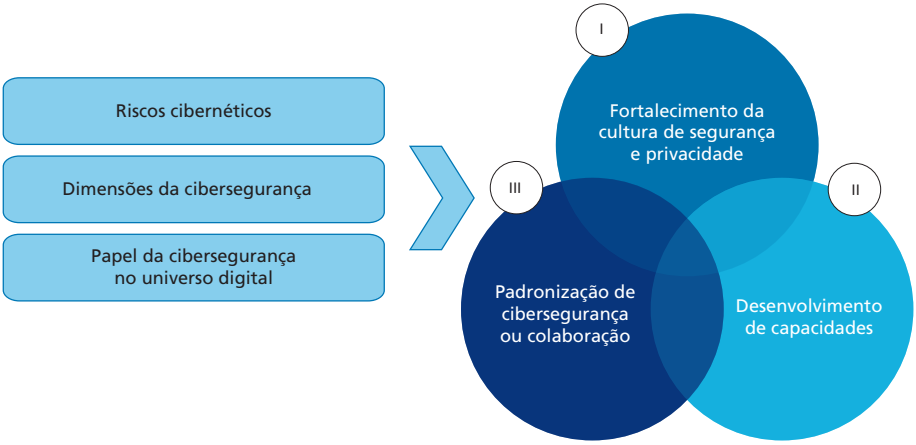


Elaboração do autor.

Uma estratégia para o fator humano em cibersegurança deve, assim, considerar o fortalecimento da cultura de segurança e privacidade. Outros pilares importantes da estratégia são o desenvolvimento de capacidades e a padronização de cibersegurança e colaborações. Eles refletem as necessidades atuais, decorrentes de fatores como o déficit de profissionais de cibersegurança, os avanços dos incidentes cibernéticos, os avanços na área, a estratégia nacional de cibersegurança, as ações realizadas pelos CSIRTs e a forma como o CGI é calculado (medidas legais, técnicas, organizacionais, de desenvolvimento de capacidades e de cooperação).

A figura 17 apresenta uma proposta de estratégia para o fator humano em cibersegurança com esses três pilares, que devem ser tratados devido ao contexto representado pelos riscos cibernéticos que faz parte da vida de todos, a complexidade resultante das dimensões da cibersegurança, e do papel da cibersegurança no universo digital.

FIGURA 17
Uma estratégia para o fator humano em cibersegurança



Elaboração do autor.

Os três pilares da estratégia para o fator humano em cibersegurança são baseados em públicos distintos, em frentes de ações complementares e em escopos de visões diferentes. Os públicos são os receptores das ações e possuem perfis diferentes que necessitam de ações próprias. Os públicos são: jovens e alunos, profissionais de cibersegurança, dirigentes e gestores, usuários e clientes e público em geral.

O pilar de fortalecimento da cultura de segurança e privacidade é voltado principalmente para os perfis de usuários e clientes, além do público em geral. O pilar de desenvolvimento de capacidades é voltado mais para os jovens e alunos, além dos profissionais de cibersegurança. Já o pilar de padronização de cibersegurança e colaboração está mais relacionado aos dirigentes e gestores.

Cada pilar possui um conjunto de frentes de ações, voltado para cada um dos perfis. As frentes de ações para cada um dos pilares da estratégia são descritas a seguir.

1) Pilar do fortalecimento da cultura de segurança e privacidade:
    a) campanhas de conscientização: levar ao público informações a respeito de segurança cibernética e de riscos cibernéticos;
    b) conscientização para a educação: após conscientização sobre os riscos, abrange avanços nos comportamentos do público e nas medidas que precisam ser tomadas;
    c) currículo acadêmico incluindo a cibersegurança: com o universo digital, todas as profissões possuem aspectos de cibersegurança que devem ser conhecidos desde a formação para serem adotados por todos; e
    d) treinamentos incluindo a cibersegurança: qualquer ação profissional de qualquer área, em algum ponto dos processos, envolve aspectos de cibersegurança, que devem ser abordados.
2) Pilar do desenvolvimento de competências:
    a) programas de P&D em cibersegurança: desenvolvimento tecnológico de cibersegurança, reforçando o ecossistema de inovação e a ligação com o mercado;
    b) currículo acadêmico especializado: conjunto de disciplinas alinhado com o mercado, para a formação profissional de diferentes perfis necessários no mercado, incentivando ainda o desenvolvimento tecnológico;
    c) programas de iniciação científica em cibersegurança: projetos práticos de cibersegurança, com aproximação com o setor privado;

d) programas de pós-graduação: especialização em cibersegurança, com melhor preparação para o mercado de trabalho, proporcionando também o desenvolvimento tecnológico; e

e) treinamentos especializados: treinamentos acessíveis para a formação em cibersegurança, de diferentes perfis necessários no mercado.

3) Pilar da padronização de cibersegurança e colaboração:

a) mecanismos de colaboração: espaços de conexão entre atores do ecossistema, para sinergias e desenvolvimento de ações em conjunto;

b) padronização técnica: desenvolvimento de padrões de modelos, processos e tecnologias para serem adotados pelas organizações, acelerando a cibersegurança;

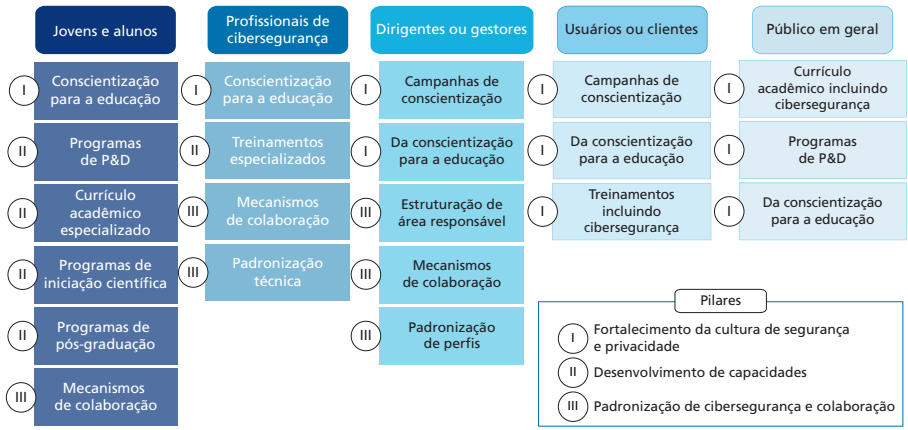
c) estrutura da área responsável: modelagem de estruturas da área de cibersegurança, incluindo mecanismos de viabilidade, para serem adotados pelas organizações, acelerando a estruturação; e

d) padronização de perfis de cibersegurança: sintonia com o mercado e os currículos de formação, para organizar o desenvolvimento de capacidades de forma mais sinérgica, como o realizado na Europa (Enisa, 2023).

Cada frente de ações para os três pilares pode ser aplicada para os perfis específicos, como pode ser visto na figura 18. Para os jovens e alunos, podem ser desenvolvidas frentes de ações relacionadas à educação em cibersegurança, programas de P&D, currículo acadêmico especializado, programas de iniciação científica, programas de pós-graduação e mecanismos de colaboração. Os profissionais de cibersegurança possuem frentes de ações específicas, bem como os dirigentes e gestores, os usuários e clientes e o público em geral.

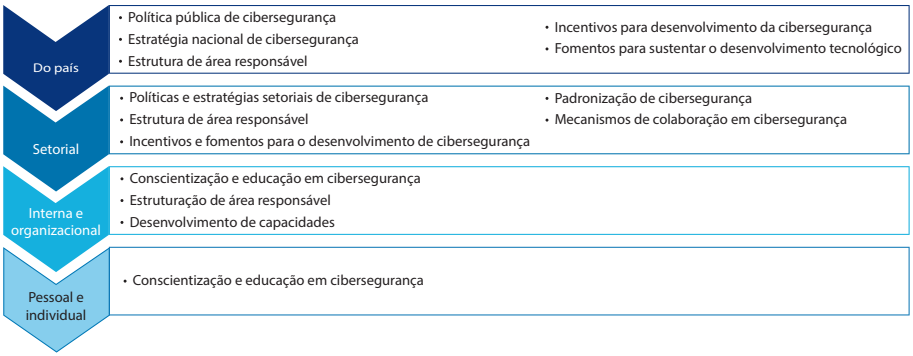
Para o planejamento e a execução das frentes de ações, é importante que diferentes escopos de visões sejam considerados (figura 19). Há o escopo do país, que pode contribuir com uma política pública de cibersegurança, com uma estratégia nacional, que já existe no Brasil, com incentivos para o desenvolvimento da cibersegurança e com os fomentos para sustentar o desenvolvimento tecnológico, por exemplo. A visão setorial envolve também a contribuição para os setores, com políticas e estratégias setoriais, envolvendo incentivos e fomentos, além da padronização e de mecanismos de colaboração. A visão interna organizacional é corporativa, com ações específicas de conscientização, estruturação e desenvolvimento de capacidades para que os desafios do universo digital possam ser enfrentados. A visão pessoal representa a evolução da própria sociedade digital, com conscientização e educação em cibersegurança como essenciais para o fortalecimento da cultura.

FIGURA 18
Frentes de ações para diferentes perfis na estratégia



Elaboração do autor.

FIGURA 19
Visões e escopos para planejamento e execução



Elaboração do autor.

Uma estratégia para o fator humano em cibersegurança envolve o fortalecimento da cultura de segurança e privacidade, alavancado por estratégias e políticas nacionais, que direcionam e reforçam o foco nos riscos cibernéticos. Adicionalmente, o apoio e o incentivo ao desenvolvimento tecnológico em cibersegurança, que fortalece toda uma indústria, envolve programas de pesquisa e desenvolvimento na área, os quais, naturalmente, incrementam as capacidades de segurança cibernética. Isso ocorre tanto sob o ponto de vista de recursos humanos quanto de recursos tecnológicos que compõem as arquiteturas de segurança e são adotados como funções de segurança cibernética, para identificação de riscos, proteção, detecção de ataques, resposta a incidentes e recuperação dos ambientes.

Como medidas de incentivo para o desenvolvimento de capacidades de cibersegurança, há possibilidades como o estabelecimento de programas de educação e treinamento por governos, empresas ou setores. As capacitações podem ser realizadas em diferentes níveis, desde o básico até os especializados, voltados para perfis profissionais específicos em cibersegurança. O mercado, de forma geral, pode contribuir com o provimento de residências tecnológicas, que possibilitam aos alunos aplicarem os conhecimentos teóricos e práticos em um ambiente real, o que auxilia também na diminuição do déficit de profissionais da área. A educação em cibersegurança passa também pela inclusão do assunto no currículo acadêmico nacional dos ensinos fundamental e médio, e a definição de um currículo padrão para cursos de graduação e pós-graduação.

As ações para o desenvolvimento de capacidades de segurança cibernética ganham força com políticas públicas, que são necessárias no contexto do universo digital. Adicionalmente, incentivos governamentais para o desenvolvimento da cibersegurança, como impostos ou a inclusão de padrões de segurança em contratos, podem beneficiar a todos.

7 CONCLUSÃO

Enquanto as vantagens das tecnologias digitais resultam em imensos benefícios econômicos e sociais, os riscos cibernéticos podem afetar negativamente as consequências da digitalização. Com os novos desafios profissionais relacionados à construção e à evolução do universo digital, o estabelecimento dos pilares da confiança no universo digital passa pela segurança cibernética. Os riscos cibernéticos, assim, devem ser entendidos e gerenciados, com as funções de identificação, análise, avaliação, tratamento, comunicação e monitoramento efetivas.

Além da estratégia nacional de cibersegurança, que trata de aspectos como proteção de infraestrutura crítica, resiliência e resposta a incidentes cibernéticos, há um importante fator para o avanço digital dos países: a segurança do domínio cibernético, principalmente com a construção de capacidades de cibersegurança. Relacionadas ao fator humano, as capacidades de cibersegurança são a chave para o universo digital e conectado, necessário para que os países possam construir infraestruturas críticas resilientes e, assim, criar as condições para proteger cidadãos e negócios, fortalecendo as comunidades digitais. Desse modo, as capacidades de cibersegurança contribuem diretamente para a redução de problemas como exclusão digital e riscos cibernéticos.

A percepção de distância é outra no universo digital, e tudo passa a estar conectado. E as conexões, em todos os níveis – do tecnológico aos modelos de negócios – se traduzem em complexidades que, naturalmente, elevam os riscos, inclusive os cibernéticos. Assim, com os avanços do universo digital, a

segurança cibernética está evoluindo, deixando de ser uma capacidade técnica e se transformando em uma capacidade das empresas, organizações e países. Os riscos cibernéticos avançam na agenda de todos, fazendo parte da vida de pessoas, empresas, organizações e países.

Os progressos da cibersegurança e o fortalecimento da cultura de segurança e privacidade envolvem o papel do governo e a necessidade de políticas públicas, em conjunto com a continuidade da aproximação entre a alta gestão e os líderes de negócios com os profissionais de cibersegurança. As ações podem incluir mudanças na estrutura organizacional para que haja maior fluidez nas comunicações e mais efetividade do gerenciamento dos riscos cibernéticos. São importantes também a evolução da linguagem, para possibilitar que essa integração ocorra com uma melhor comunicação e um melhor entendimento dos aspectos de cibersegurança por todos, e a aceitação das responsabilidades e deveres pelos requisitos de cibersegurança necessários como capacidade intrínseca da organização.

O aumento da interdependência das infraestruturas críticas e a busca por maior conectividade e novas tecnologias continuam, com o universo digital evoluindo constantemente. Com o uso intensivo da inteligência artificial, os ataques tendem a ser ainda mais sofisticados, com o fator humano representando um elemento-chave, tanto para os atacantes quanto para a proteção das organizações. Os ataques direcionados ganham força e eficiência, principalmente com o uso cruzado de dados, muitas vezes provenientes de outros ataques cibernéticos. Além disso, o volume de ataques aumenta, enquanto os mecanismos de monitoramento e defesa ganham em eficiência e efetividade. Nesse contexto, o fator humano é imprescindível, principalmente sob o aspecto profissional e para diminuir o déficit de profissionais especializados, que irão direcionar as ações de cibersegurança necessárias.

O universo digital, com todos os riscos cibernéticos intrínsecos, faz também com que as habilidades em cibersegurança se expandam para os profissionais de todas as áreas. Todos devem ter uma visão mais crítica sobre o funcionamento de qualquer elemento, para que as vulnerabilidades e os cenários de ataques sejam visualizados para, assim, serem evitados. É a natureza dos riscos cibernéticos, que afeta todas as pessoas, empresas, organizações e países. A segurança cibernética é de responsabilidades de todos. Com uma educação em cibersegurança, que fortalece uma cultura de segurança e privacidade, com ações de desenvolvimento de capacidades e de padronização de cibersegurança e com o estabelecimento de mecanismos de colaboração, a sociedade pode avançar com mais confiança no universo digital, com benefícios tecnológicos e maior conformidade legal. O reflexo é o próprio avanço econômico.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO/IEC 27005**: tecnologia da informação – técnicas de segurança – gestão de riscos de segurança da informação. [s.l.]: ABNT, 2019.

_____. **ABNT NBR ISO 22301**: segurança e resiliência – sistema de gestão de continuidade de negócios – requisitos. [s.l.]: ABNT, 2020.

_____. **ABNT NBR ISO/IEC 27001**: segurança da informação, segurança cibernética e proteção à privacidade – sistemas de gestão da segurança da informação – requisitos. [s.l.]: ABNT, 2022a.

_____. **ABNT NBR ISO/IEC 27002**: segurança da informação, segurança cibernética e proteção à privacidade – controles de segurança da informação. [s.l.]: ABNT, 2022b.

ARCTIC WOLF. **The top 10 manufacturing industry cyber attacks**. Arctic Wolf, 12 mar. 2023. Disponível em: https://arcticwolf.com/resources/blog/top-8-manufacturing-industry-cyberattacks/. Acesso em: 13 maio 2023.

BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 59, 15 ago. 2018a. Seção 1. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/dou/-/lei-no-13-709-de-14-de-agosto-de-2018-36849337. Acesso em: 14 maio 2023.

_____. Decreto nº 9.573, de 22 de novembro de 2018. Política Nacional de Segurança de Infraestruturas Críticas. Aprova a Política Nacional de Segurança de Infraestruturas Críticas. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 40, 23 nov. 2018b. Seção 1. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-9-573-de-22-de-novembro-de-2018-51525032. Acesso em: 14 maio 2023.

_____. Decreto nº 9.637, de 26 de dezembro de 2018. Institui a Política Nacional de Segurança da Informação, dispõe sobre a governança da segurança da informação e altera o Decreto nº 2.295, de 4 de agosto de 1997, que regulamenta o disposto no art. 24, caput, inciso IX, da Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, e dispõe sobre a dispensa de licitação nos casos que possam comprometer a segurança nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 23, 27 dez. 2018c. Seção 1. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-9-637-de-26-de-dezembro-de-2018-56969938. Acesso em: 21 mar. 2023.

_____. Decreto nº 10.222, de 5 de fevereiro de 2020. Aprova a Estratégia Nacional de Segurança Cibernética. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 6, 6 fev. 2020a. Seção 1. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-10.222-de-5-de-fevereiro-de-2020-241828419. Acesso em: 21 mar. 2023.

_____. Decreto nº 10.569, de 9 de dezembro de 2020. Aprova a Estratégia Nacional de Segurança de Infraestruturas Críticas. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 8, 10 dez. 2020b. Seção 1. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-10.569-de-9-de-dezembro-de-2020-293251357. Acesso em: 14 maio 2023.

_____. Decreto nº 10.748, de 16 de julho de 2021. Institui a Rede Federal de Gestão de Incidentes Cibernéticos. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 2, 19 jul. 2021. Seção 1. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-10.748-de-16-de-julho-de-2021-332610022. Acesso em: 14 maio 2023.

_____. Decreto nº 11.200, de 15 de setembro de 2022. Aprova o Plano Nacional de Segurança de Infraestruturas Críticas. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 9, 16 set. 2022. Seção 1. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-11.200-de-15-de-setembro-de-2022-430035293. Acesso em: 14 maio 2023.

CASO, Jeffrey *et al*. Cybersecurity for the IoT: how trust can unlock value. **McKinsey & Company**, 7 Apr. 2023. Disponível em: https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/cybersecurity-for-the-iot-how-trust-can-unlock-value. Acesso em: 14 maio 2023.

CISA – CYBERSECURITY & INFRASTRUCTURE SECURITY AGENCY. **Cyber Incident Reporting for Critical Infrastructure Act of 2022** (CIRCIA). Arlington: Cisa, Mar. 2022. Disponível em: https://www.cisa.gov/topics/cyber-threats-and-advisories/information-sharing/cyber-incident-reporting-critical-infrastructure-act-2022-circia. Acesso em: 15 maio 2023.

ENISA – EUROPEAN UNION AGENCY FOR CYBERSECURITY. **European Cybersecurity Skills Framework (ECSF)**. Athens: Enisa, 2023. Disponível em: https://www.enisa.europa.eu/topics/education/european-cybersecurity-skills-framework. Acesso em: 20 jun. 2023.

FEM – FÓRUM ECONÔMICO MUNDIAL. **Global Cybersecurity Outlook 2023**. Colony/Geneva: World Economic Forum, 18 Jan. 2023a. Disponível em: https://www.weforum.org/reports/global-cybersecurity-outlook-2023/. Acesso em: 13 maio 2023.

_____. **The Global Risks Report 2023**. 18th ed. Colony/Geneva: World Economic Forum, 11 Jan. 2023b. Disponível em: https://www.weforum.org/reports/global-risks-report-2023/. Acesso em: 13 abr. 2023.

FORTIGUARD LABS. **Global threat landscape report**: a semianual report by FortiGuard Labs – February 2023. Sunnyvale: Fortinet, 2023. Disponível em: https://www.fortinet.com/content/dam/fortinet/assets/threat-reports/report-2023-threat-landscape.pdf. Acesso em: 14 maio 2023.

FRUHLINGER, Josh. Stuxnet explained: the first known cyberweapon. **CSO**, 31 Aug. 2022. Disponível em: https://www.csoonline.com/article/3218104/stuxnet-explained-the-first-known-cyberweapon.html. Acesso em: 13 maio 2023.

IEF – INTERNATIONAL ENERGY FORUM. Energy is the top target for cyberattacks. How can the sector respond? **IEF**, 25 Aug. 2022. Disponível em: https://www.ief.org/news/energy-is-the-top-target-for-cyberattacks-how-can-the-sector-respond. Acesso em: 13 abr. 2023.

ISC2 – INTERNATIONAL INFORMATION SYSTEM SECURITY CERTIFICATION CONSORTIUM. **(ISC)² Cybersecurity workforce study**: a critical need for cybersecurity professionals persists amidst a year of cultural and workplace evolution – 2022. Alexandria: ISC2, 2022. Disponível em: https://media.isc2.org/-/media/Project/ISC2/Main/Media/documents/research/ISC2-Cybersecurity-Workforce-Study-2022.pdf. Acesso em: 15 maio 2023.

ITU – INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. **Global cybersecurity index**: 2020. Geneve: ITU Publications, 2020. Disponível em: https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/str/D-STR-GCI.01-2021-PDF-E.pdf. Acesso em: 21 mar. 2023.

MORGAN, Steve. Humans on the internet will triple from 2015 to 2022 and hit 6 billion. **Cybercrime Magazine**, Sausalito, 18 July 2019. Disponível em: https://cybersecurityventures.com/how-many-internet-users-will-the-world-have-in-2022-and-in-2030/. Acesso em: 20 jun. 2023.

SONICWALL. **2022 Sonicwall cyber threat report**. Milpitas: Sonicwall, 2022. Disponível em: https://www.sonicwall.com/medialibrary/en/white-paper/2022-sonicwall-cyber-threat-report.pdf. Acesso em: 14 maio 2023.

_____. **2023 Sonicwall cyber threat report**: charting cybercrime's shifting frontlines. Milpitas: Sonicwall, 2023. Disponível em: https://www.sonicwall.com/medialibrary/en/white-paper/2023-cyber-threat-report.pdf. Acesso em: 13 maio 2023.

VERIZON. **2022 DBIR Data Breach Investigations Report**. New York: Verizon, 2022. Disponível em: https://www.verizon.com/business/resources/reports/dbir/. Acesso em: 14 maio 2023.

CAPÍTULO 10

ANÁLISE PRELIMINAR DO PROGRAMA NORTE-AMERICANO CREATING HELPFUL INCENTIVES TO PRODUCE SEMICONDUCTORS (CHIPS)[1]

Ana Paula Macedo de Avellar[2]

1 INTRODUÇÃO

A política industrial tem se colocado com destaque no debate internacional por ser considerada, por um diverso conjunto de estudiosos e de formuladores de política (*policy makers*), um dos principais determinantes da competitividade e das estratégias de desenvolvimento dos países desenvolvidos e em desenvolvimento (Bittencourt e Rauen, 2021; Unido, 2021).

No contexto da pandemia causada pela covid-19, fortaleceu-se a discussão sobre a importância da indústria manufatureira na economia e, consequentemente, sobre a atuação do Estado na geração de estímulos para a promoção de seu desenvolvimento. A indústria manufatureira, mesmo na emergência de uma possível sociedade pós-industrial, pode ser considerada ainda uma atividade econômica relevante, pois, conforme Unido (2021, p. 4-5, tradução nossa):

> (1) indústrias manufatureiras são vitais para o fornecimento de bens essenciais à vida e à segurança nacional; (2) os produtores desempenham um papel no fornecimento de bens essenciais para enfrentar a própria emergência; e (3) o setor manufatureiro contribui para a recuperação e o crescimento das economias nacionais.[3]

Durante a pandemia, ainda em curso, as cadeias de suprimentos foram significativamente atingidas em razão da necessidade de distanciamento social e do consequente fechamento de unidades fabris, uma vez que a produção é altamente concentrada em relativamente poucas instalações. O rompimento dessas cadeias

---

1. Uma versão anterior deste capítulo foi originalmente publicada como *Nota Técnica* do Ipea (Avellar, 2023).

2. Bolsista do Subprograma de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional do Programa de Mobilização da Competência Nacional para Estudos sobre o Desenvolvimento (PNPD/Promob) na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais, de Inovação, Regulação e Infraestrutura do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Diset/Ipea); e professora titular do Instituto de Economia e Relações Internacionais da Universidade Federal de Uberlândia. *E-mail*: anaavellar@ufu.br.

3. "*(1) Manufacturing industries are vital to providing essential goods that are critical to life and national security; (2) manufacturers play a role in supplying goods critical to tackling the emergency itself; and (3) the manufacturing sector contributes to the recovery and growth of national economies*".

se mostrou particularmente crítico para aquelas atividades industriais que dependiam da incorporação de semicondutores, ou seja, a maior parte da indústria de média-alta e alta tecnologia.[4]

Os semicondutores são componentes-chave em uma ampla gama de produtos, incluindo computadores, eletrônicos de consumo, veículos, equipamentos médicos e sistemas de armamento. A produção de *chips* atualmente está concentrada na Ásia Oriental, responsável por cerca de 75% da produção global de semicondutores. A produção dos Estados Unidos, por sua vez, representa apenas cerca de 12% da oferta global de semicondutores e tem declinado desde a década de 1990. Em 1990, representava cerca de 37% da produção global de *chips* (SIA, 2022).

O objetivo deste capítulo é apresentar, de forma organizada e inteligível, as principais características do recém-aprovado programa norte-americano Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors (Chips). Apesar de um tanto descritivo, tal objetivo se justifica em razão das múltiplas fontes de informação governamentais sobre o assunto e sobretudo pela construção contínua do próprio programa.

A estratégia metodológica deste estudo está centrada na realização de um amplo levantamento bibliográfico, a partir da análise de artigos científicos, relatórios de pesquisa, documentos oficiais dos departamentos do governo norte-americano, artigos publicados na imprensa e documentos legais para o mapeamento dos objetivos, objeto, público-alvo, instrumentos, volume de recursos, operacionalidade e aspectos legais.

Desse modo, este trabalho visa alimentar os gestores públicos brasileiros com informações abrangentes sobre as recentes mudanças ocorridas nos Estados Unidos em relação ao referido programa, de forma a lançar bases para um possível aprendizado e uma futura aplicação no Brasil.

Além desta introdução, o capítulo possui três outras seções. A segunda seção apresenta um apanhado geral da atual política industrial sob a égide da administração Biden, culminando no lançamento, dentro desse período, do programa Chips, do qual destacaremos as estratégias de monitoramento e avaliação. A terceira seção apresenta os desdobramentos da recente contenda comercial entre China e Estados Unidos. Encerrando o estudo, tecem-se os comentários finais. Com isso, espera-se apresentar um documento que organize as muitas informações dispersas e desencontradas que se relacionam a uma das mais importantes intervenções em política industrial do mundo desenvolvido.

4. Disponível em: https://venturebeat.com/2022/07/10/deloitte-the-end-of-the-semiconductor-shortage-is-near/.

2 A RECENTE POLÍTICA INDUSTRIAL NOS ESTADOS UNIDOS E O PROGRAMA CHIPS: UM PANORAMA RECENTE

De acordo com Mazzucato, Andreoni e Conway (2021), a política industrial desempenhou, ao longo da história, papel central na formação da estrutura produtiva dos Estados Unidos, bem como no desenvolvimento de instituições públicas, departamentos e agências de tecnologia. Grande parte desse arcabouço institucional foi estratégico para o desenvolvimento do ecossistema de inovação daquele país e propulsor da sua liderança tecnológica global no último século. Para esses autores, a hegemonia tecnológica norte-americana se deve a um esforço explícito, baseado no emprego de diferentes instrumentos de política pública.

Ao longo dos anos 2000, mesmo que tenha ocorrido grande variação no espectro político das diferentes administrações federais, os Estados Unidos realizaram diversos e robustos esforços de política industrial, que contaram com variados instrumentos, tanto do lado da oferta quanto da demanda (Di Tommaso e Schmeitzer, 2013). Recentemente, essa histórica atuação explícita do Estado foi reforçada por novos desafios socioeconômico-ambientais surgidos no início do novo século (Tucker, 2019).

Durante a administração Bush (2000-2008), por exemplo, foi implementado o programa American Competitiveness Initiative, baseado na execução de instrumentos horizontais, regulamentação e incentivos fiscais, numa estratégia centrada no ambiente de negócios. A administração Obama (2009-2017), por sua vez, instituiu a American Recovery and Reinvestment Act, concentrando-se na política de ciência e tecnologia, com grande preocupação na retomada ambientalmente sustentável da economia, a partir, inclusive, de investimentos no Departamento de Energia. Ainda na administração Obama empreenderam-se esforços de retomada da indústria norte-americana com programas de promoção à relocalização das unidades fabris no país. De acordo com MIT (2013), o conjunto de medidas explícitas que constituíam a política industrial no governo Obama visava ao aumento da competitividade da indústria em áreas-chave cujas posições de liderança encontravam-se ameaçadas, como computação, aeroespacial, robótica, tecnologias de informação e comunicação.

Mais recentemente, Mazzucato, Andreoni e Conway (2021, p. 3, tradução nossa), ao observarem as diversas propostas e ações da atual administração federal norte-americana, afirmam que "hoje a política industrial está de volta ao centro da agenda política dos Estados Unidos".[5]

Para os referidos autores, os Estados Unidos enfrentam importantes desafios na atualidade, tais como: profundo impacto da pandemia da covid-19 na sociedade

5. "*Today, industrial policy is back at the center of the US policy agenda*".

e na economia; vastos e difusos efeitos das mudanças climáticas; crescentes tensões no comércio global (agora, altamente fragmentado); competição tecnológica; e segurança nacional. Esse cenário fortalece a elaboração e a execução de uma explícita política industrial no país.

> O departamento e as agências do Estado empreendedor dos Estados Unidos são hoje solicitados a repensar seu papel, missões, modelos organizacionais e estruturas à luz do novo e dinâmico ambiente doméstico e global. Compreender esse processo, aprender com as soluções de *design*, as formas e funções institucionais e sua direcionalidade são centrais para a nova fronteira da política industrial dos Estados Unidos. Também é fundamental para repensar a relação entre o Estado e o mercado. A pandemia, o aumento das desigualdades e as mudanças climáticas colocaram em evidência as limitações do paradigma econômico dominante, demandando uma mudança de paradigma. A política industrial é central nesse processo, exatamente porque essas políticas definem os termos e as condições de um novo contrato social e econômico (Mazzucato, Andreoni e Conway, 2021, p. 5, tradução nossa).[6]

Em resposta a esses desafios, de acordo com Hufbauer e Jung (2021), a administração Biden tem colocado grande ênfase, e recursos, na política industrial como indutora do desenvolvimento econômico.

Logo nos primeiros meses de seu governo, o presidente Biden lançou o Plano Americano de Empregos (American Jobs Plan), também conhecido como Plano Biden, considerado um amplo e expressivo programa de investimentos públicos, com expectativa de investimento em torno de US$ 2,3 trilhões, a serem executados no período de oito anos.

Segundo The White House (2021), esse plano tem como objetivo ampliar a competitividade dos Estados Unidos diante da ascensão da economia chinesa, e, para isso, abrange três importantes dimensões: modernização da infraestrutura (US$ 1,31 trilhão); fortalecimento da indústria e de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e treinamento da mão de obra (US$ 580 bilhões); e apoio à assistência domiciliar e/ou comunitária para idosos e deficientes (US$ 400 bilhões). Em síntese, uma política de quase US$ 2,3 trilhões.

Do montante destinado ao fortalecimento da indústria (US$ 580 bilhões), observa-se que o Plano Biden considera o setor de manufatura de semicondutores com destaque, propondo o investimento em torno de US$ 50 bilhões para financiar o setor nos próximos cinco anos (2022-2026).

---

6. "*The department and agencies of the US Entrepreneurial State are today asked to re-think their role, missions, organisational models and structures in light of the new mutated domestic and global environment. Understanding this process, learning from design solutions, institutional forms and functions, and their directionality, is central to the US new industrial policy frontier. It is also central in rethinking the relationship between the state and the market. The pandemic, increasing inequalities and climate change have highlighted the limitations of the dominant economic paradigm and called for a paradigmatic shift. Industrial policy is central in this process, exactly because these policies define the terms and conditions of a new social and economic contract*."

Esse montante será destinado para as seguintes atividades (United States, 2022a, p. 3498, tradução nossa):

- US$ 39 bilhões seriam direcionados para incentivar a construção ou modernização de instalações nos Estados Unidos para fabricação de semicondutores, montagem, teste, embalagem avançada ou atividades de P&D; e
- outros US$ 11,2 bilhões apoiariam vários investimentos em P&D e infraestrutura, incluindo o estabelecimento de um Centro Nacional de Tecnologia de Semicondutores (NSTC), investimentos em embalagens avançadas, a criação do Manufacturing USA Institute voltado para semicondutores e a expansão da P&D de metrologia do National Institute of Standards and Technology (Nist) para apoiar o setor de semicondutores e as atividades de P&D de microeletrônica.[7]

Vale ressaltar que esse montante de cerca de US$ 50 bilhões será direcionado para a fabricação doméstica de semicondutores ao mesmo tempo que um robusto investimento, que será tratado adiante neste capítulo, será realizado por meio da National Science Foundation (NSF) para pesquisa em áreas tecnológicas de interesse desse campo de aplicação.

Além do referido Plano Americano de Empregos, o governo Biden, também no início de sua gestão, priorizou a elaboração de um outro conjunto de políticas, agora dirigidas ao fortalecimento das cadeias de fornecedores (*supply chain*) e revitalização da indústria de base.

Em fevereiro de 2021, o presidente assinou a Ordem Executiva nº 14.017 (America's Supply Chains Executive Order), em que se propunha uma revisão das cadeias de fornecedores que atendem à indústria dos Estados Unidos, focando inicialmente em quatro produtos críticos: i) semicondutores (e embalagens avançadas); ii) baterias de alta capacidade, incluindo as de veículos elétricos; iii) materiais e minerais críticos, incluindo elementos raros; e iv) farmacêuticos e ingredientes ativos farmacêuticos (The White House, 2022a).

Adicionalmente, para fortalecer os instrumentos de incentivo à inovação, em 8 de junho de 2021, o Senado dos Estados Unidos aprovou a Lei de Inovação e Concorrência (United States Innovation and Competition Act – Usica), incluindo US$ 52 bilhões para fabricação de semicondutores e US$ 200 bilhões para atividades de P&D (Hufbauer e Jung, 2021, p. 104).

7. No original:"*• $39B would be directed to incentivize the construction or modernization of facilities in the U.S. for semiconductor fabrication, assembly, testing, advanced packaging, or R&D; and • Another $11.2B would support several R&D and infrastructure investments including the establishment of a National Semiconductor Technology Center (NSTC), investments in advanced packaging, the creation of a Manufacturing USA institute targeting semiconductors, and expansion of NIST's metrology R&D in support of semiconductor and microelectronics R&D*".

Vale ressaltar que essa legislação foi introduzida pela primeira vez em 2020 pelos senadores Chuck Schumer (Partido Democrata de Nova Iorque) e Todd Young (Partido Republicano de Indiana), denominada de Endless Frontier Act (EFA). Após revisão por pelo menos sete comitês do Senado, a EFA foi expandida para incluir várias propostas dos comitês que abordam temas como a competitividade dos Estados Unidos perante a China. A EFA é agora uma divisão dentro da expansão do pacote renomeado como Usica (Lee e Londoño, 2021).

A ampliação e o desenvolvimento dessas propostas tornaram a Usica uma extensa legislação de quase 2.400 páginas com espectro de atuação muito abrangente. A referida legislação propõe, por exemplo, a criação de uma Diretoria de Tecnologia, Inovação e Parcerias (Directorate for Technology, Innovation and Partnerships – TIP) na estrutura organizacional da NSF, com um orçamento de US$ 52 bilhões. Além disso, destina outro montante representativo de recursos para a implementação da Lei do Chip – que será apresentada mais adiante –, que visa fortalecer a cadeia de fornecimento de microprocessadores domésticos, e reserva dezenas de bilhões de dólares a mais para pesquisa básica em uma variedade de campos científicos.

Já no ano seguinte, em 4 de fevereiro de 2022, a Câmara dos Deputados dos Estados Unidos aprovou a America Competes Act (America Creating Opportunities for Manufacturing, Pre-Eminence in Technology, and Economic Strength Act), com o intuito de financiar a fabricação doméstica de *chips* semicondutores, aumentar acentuadamente o financiamento de P&D científico e orientar a conduta dos Estados Unidos em relação à competição com a China. Esse projeto de lei seguiu para análise e conciliação com a Usica, projeto semelhante aprovado no Senado em 2021 e já mencionado neste estudo.

Em julho de 2022, os líderes da Câmara e do Senado negociaram um projeto de lei final que pudesse ser aprovado tanto no Senado quanto na Câmara. O projeto representava uma importante oportunidade para uma conquista legislativa significativa num Congresso com apoio bipartidário.

Feldgoise e Sheehan (2022) destacam que os projetos de lei Usica e America Competes se alinham com temas relacionados ao estímulo à fabricação de semicondutores pelos Estados Unidos, por exemplo, mas divergem quanto à criação de uma nova diretoria de tecnologia na NSF.

A justificativa para a criação dessa nova diretoria seria a necessidade de promover o desenvolvimento de pesquisas especialmente aplicadas à solução de problemas e promotoras do avanço tecnológico, dada a pressão causada pelos avanços tecnológicos da China. Sendo assim, foi proposto avaliar o papel histórico da NSF, sugerindo, no projeto de lei da America Competes, que fossem desenvolvidas pesquisas aplicadas. Contudo, a referida instituição vem apresentando

resistência em modificar sua missão central, de desenvolver a pesquisa científica básica. É possível verificar que, nas últimas décadas, os Estados Unidos têm sustentado suas competências tecnológicas essencialmente na pesquisa básica. Porém, com o aprofundamento da competição no âmbito global e com a transferência da produção de muitos produtos para outros países, ocorreu uma drástica redução do conhecimento tecnológico no país.

Ainda de acordo com Feldgoise e Sheehan (2022), a proposta de uma diretoria de tecnologia na NSF representa uma importante oportunidade para acelerar o desenvolvimento tecnológico dos Estados Unidos, ao viabilizar alto volume de recursos para financiamento.

No que se refere à criação da nova diretoria de inovação da instituição, pode-se afirmar que

> a TIP também ampliará as oportunidades de ciência e tecnologia a todos os cidadãos americanos, estabelecendo uma ampla presença que atinge comunidades em todo o país e novos caminhos educacionais disponíveis para qualquer pessoa que deseje buscar novos empregos de boa qualidade e altos salários em ciência e tecnologia. A TIP é um elemento crítico do apoio da NSF para futuros líderes de ciência e tecnologia que refletem a rica diversidade cultural e geográfica dos Estados Unidos – uma das maiores vantagens do país na competição e liderança global (NSF, 2022, tradução nossa).[8]

Ademais, a diretoria desempenharia um importante papel na promoção de parcerias estratégicas entre os diferentes setores da sociedade.

De acordo com Lee, T. (2022), ambas as iniciativas, America Competes e Usica, representam uma expansão radical do papel do governo no incentivo da indústria, por meio de uma abrangente política industrial. O autor ressalta, entretanto, o risco latente de que o recurso destinado a esses programas não alcance o resultado esperado.

> America Competes e Usica representam uma expansão radical no papel do governo federal na indústria de tecnologia. Ambos os projetos de lei se relacionam com a política industrial, investindo bilhões de dólares para subsidiar P&D e fabricação de importantes projetos tecnológicos. Os referidos projetos de lei demonstram que ambos os lados estão dispostos a empregar a política industrial para promover objetivos específicos de política interna e externa. Infelizmente, o governo federal é muito mais lento e menos hábil do que a indústria privada em responder às demandas do mercado. Como tal, é provável que esse exercício de política industrial

8. "*TIP will also extend the opportunities of science and technology to every American, establishing both a broad footprint that touches communities across the country and novel education pathways available to anyone who wishes to pursue new, high-wage, good-quality jobs in science and technology. TIP is a critical element of NSF's support for future science and technology leaders who reflect the rich cultural and geographic diversity of the U.S. – one of the nation's greatest advantages in global competition and leadership*".

simplesmente desloque bilhões de dólares dos contribuintes para indústrias já lucrativas, sem obter muito ganho econômico (Lee, T., 2022, p. 4, tradução nossa).[9]

Um aspecto relevante é o fato de que alguns dos referidos programas de apoio ao desenvolvimento industrial estão focados em áreas estratégicas específicas e em setores industriais selecionados. De acordo com Bonvillian (2021), é possível identificar as principais áreas estratégicas de tecnologia avançada que são objetos da lei Usica, tais como: inteligência artificial; computação quântica; nova computação e semicondutores de alto desempenho; robótica, automação, e manufatura avançada; biotecnologia; cibersegurança; materiais avançados; tecnologia avançada de energia; e tecnologia de comunicação avançada. Assim, e dentro de todo esse contexto, em 2022, foi aprovado pelo governo Biden e pelo Congresso um programa específico para estimular a indústria de semicondutores, denominado Programa Chips, como parte constituinte das leis America Competes e Usica e presente na National Defense Authorization Act (NDAA) para o ano fiscal de 2022.

O objetivo do programa é manter a posição dos Estados Unidos como líder mundial em *design* de *chips* semicondutores e restaurar a liderança mundial nas etapas da produção.

De acordo com Kersten *et al*. (2022), o Programa Chips baseia-se em três componentes principais: i) um programa de incentivo à construção, modernização ou expansão de instalações ou equipamentos de fabricação de semicondutores; ii) uma série de programas liderados pelo Departamento de Comércio destinados a impulsionar atividades de P&D e força de trabalho para semicondutores avançados; e iii) programas suplementares para iniciativas relacionadas à cadeia de suprimentos, segurança nacional e cooperação internacional.

A seção nº 9.902 do Chips for America Act (Lei do Chip) autoriza a execução de um programa de subsídios para fornecer apoio financeiro para construção, modernização ou expansão de unidades produtivas de semicondutores nos Estados Unidos. Empresas privadas ou públicas, ou as parcerias entre ambas, são elegíveis para participar do programa e solicitar auxílio financeiro no valor de até US$ 3 bilhões para a construção de fábricas de semicondutores, especialmente à construção de fundições no país. Por meio desse programa, espera-se promover o desenvolvimento de determinadas regiões e a qualificação da força de trabalho. Visando ampliar a competividade dos Estados Unidos nas diversas etapas do

9. "*America Competes and Usica would represent a dramatic expansion in the federal government's role in the technology industry. Both bills would engage in industrial policy by dedicating billions of dollars to subsidizing R&D and manufacturing of key tech projects. The bills demonstrate that both sides of the aisle are willing to employ industrial policy to further certain domestic and foreign policy goals. Unfortunately, the federal government is both far slower and less adept than private industry at responding to market demands. As such, this exercise in industrial policy is likely to simply shift billions of taxpayer dollars to already profitable industries without realizing much economic gain*".

processo produtivo de *chips* (*design*, fabricação, processamento e embalagem), a lei permite a criação de novos departamentos federais de P&D, bem como o fortalecimento da cadeia de suprimentos.

A seção nº 9.906 do Chips for America Act dedica-se a desenvolver estratégias para estimular as atividades de P&D em microeletrônica. Prevê que o Nist realize atividades de P&D em busca de estratégias de aprimoramento de metrologia, padrões e caracterização de materiais; estabelece um novo instituto, como parte da rede de parcerias público-privadas da Manufacturing USA, que promoveria atividades de P&D; e desenvolve currículos educacionais e de treinamento de habilidades necessárias para a força de trabalho atuante no setor de semicondutores.

A seção nº 107 do Programa Chips cria um novo crédito fiscal, denominado Advanced Manufacturing Investment Tax Credit (ITC), que está descrito na seção nº 48D do Internal Revenue Code e permite um crédito para investimentos em instalações e equipamentos de fabricação de semicondutores (United States, 2022b). Ou seja, o Programa Chips oferece também às empresas privadas um crédito fiscal de 25% para a construção, expansão ou modernização de plantas de fabricação de semicondutores e equipamentos que serão usados para projeto ou processamento de *chips* nos Estados Unidos (Arcuri, 2022). Ressalta-se que essa proposta de incentivos fiscais estava presente no programa Facilitating American Built Semiconductors Act (Fabs) e foi incorporada pelo Programa Chips.

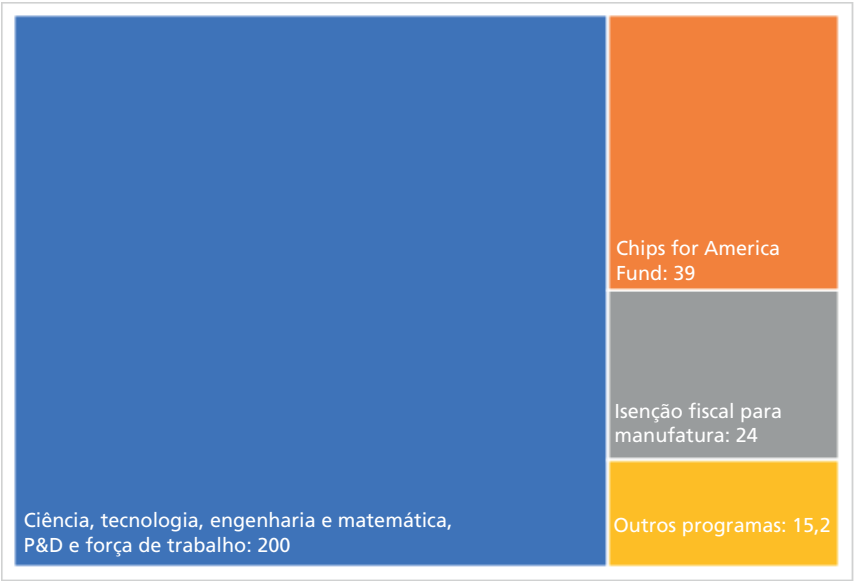
De acordo com Lee, R. (2022), é necessário cautela por parte das empresas na adoção do crédito fiscal (*tax credit*), dado que algumas informações ainda estão imprecisas quanto à sua operacionalidade. Segundo o autor, para a empresa ser elegível para o novo crédito fiscal, uma nova unidade produtiva deve ser colocada em funcionamento após 31 de dezembro de 2022 e iniciar a construção antes de 1º de janeiro de 2027. Caso a construção inicie antes de 1º de janeiro de 2023, somente os custos adicionados, após 9 de agosto de 2022, data da promulgação da lei, serão qualificados para o crédito fiscal. Ou seja, tem-se uma mecânica complexa de incentivos.

Como resultado de toda a negociação política e debate técnico, a seção nº 1.002 da Lei Usica, por sua vez, define a alocação total dos recursos em três fundos destinados a pagar por atividades que foram autorizadas pelo Programa Chips, quais sejam: Chips for America Fund; Chips for America Defense Fund; e Chips for America International Technology Security and Innovation Fund.

Esses fundos e programas complementares totalizam um investimento direto de cerca de US$ 280 bilhões. Esses recursos têm como objetivo financiar programas de apoio ao desenvolvimento das atividades industriais do setor de semicondutores, às atividades de pesquisa em P&D para o setor e ao desenvolvimento da força de trabalho. E, também, custear a execução de incentivos fiscais e

o apoio à cadeia de suprimentos do setor de semicondutores. A totalidade desse volume de recursos está distribuída conforme mostra a figura 1.

FIGURA 1
Recursos para o Programa Chips e o apoio à ciência (2022-2026)
(Em US$ bilhões)



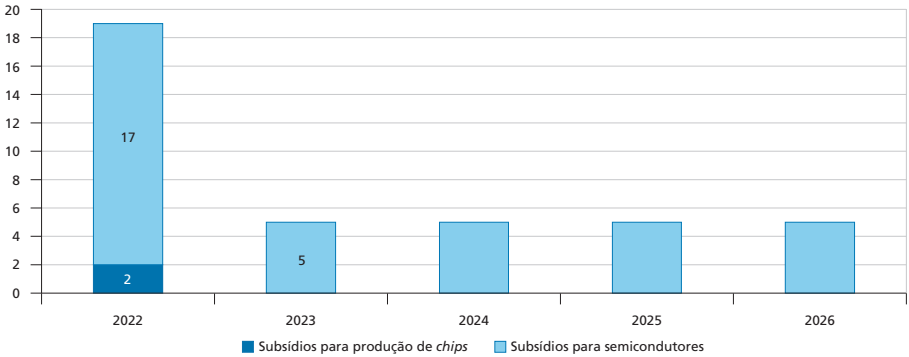
Fonte: Badlam *et al*. (2022).

Do total de cerca de US$ 280 bilhões de orçamento, US$ 200 bilhões estão destinados ao financiamento de atividades de P&D, comercialização de semicondutores, e treinamento e qualificação de mão de obra nas atividades de ciência, tecnologia, engenharia e matemática (*science, technology, engineering and math* – STEM). Esses recursos são geridos pela NSF e pelos departamentos de Energia e do Comércio do governo americano.

O segundo programa de destaque que constitui o Programa Chips é o já mencionado Chips for America Fund, com um montante de recursos de US$ 39 bilhões (Atkinson, 2022).

A maior parte dos US$ 39 bilhões está prevista para ser alocada para 2022, logo após a aprovação desse projeto de lei (gráfico 1). Dos US$ 19 bilhões autorizados para esse ano, US$ 2 bilhões serão dedicados a instalações relacionadas à produção de semicondutores menos sofisticados (*legacy chips*), necessários para as indústrias automotiva e de defesa. Para o período 2023-2026, serão alocados US$ 5 bilhões por ano.

GRÁFICO 1
Recursos do Chips for America Fund (2022-2026)
(Em US$ bilhões)



Fonte: Kersten *et al*. (2022).

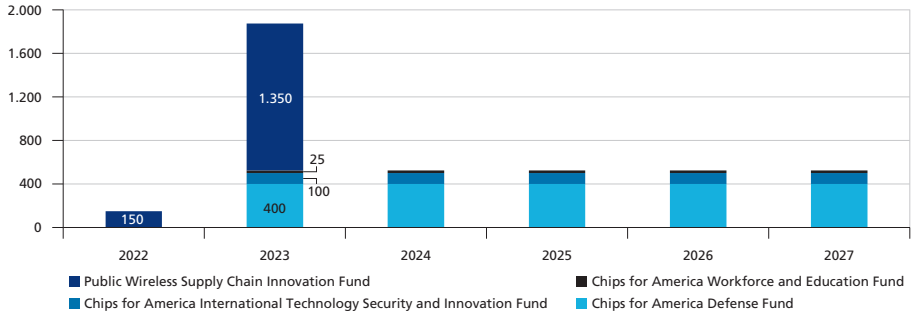
Ainda de acordo com a figura 1, o terceiro maior orçamento do Programa Chips está destinado ao Chips Advances Manufacturing Tax Credit, programa de isenção fiscal que tem previsão de um montante de US$ 24 bilhões de recursos.

Na sequência podem ser listados outros oito programas complementares do Programa Chips que totalizam um investimento de US$ 15,2 bilhões, sendo assim distribuídos: Chips for America Defense Fund (US$ 2 bilhões); Chips for America International Technology Security and Innovation Fund (US$ 500 milhões); National Semiconductor Technology Center (US$ 2 bilhões); National Advances Packing Manufacturing Program (US$ 2,5 bilhões); Microeletronic R&D Manufacturing USA Institute (US$ 500 milhões); National Institute of Standards and Technology Semiconductor Programs (US$ 6 bilhões); Public Wireless Supply Chain Innovation Fund (US$ 1,5 bilhão); e Chips for America Workforce and Education Fund (US$ 200 milhões).

Kersten *et al*. (2022) analisam esses oito subprogramas dividindo a análise em dois grupos. Inicialmente dão especial ênfase a quatro programas, que totalizam US$ 4,2 bilhões: Chips Defense Fund (US$ 2 bilhões); Chips for America Workforce and Education Fund (US$ 200 milhões); Chips for America International Security and Innovation Fund (US$ 500 milhões); e Public Wireless Supply Chain Innovation Fund (US$ 1,5 bilhão).

Os referidos recursos estarão disponíveis entre 2022 e 2027, conforme a distribuição por programa apresentado no gráfico 2.

GRÁFICO 2
Recursos dos programas complementares do Programa Chips (2022-2027)
(Em US$ milhões)



Fonte: Kersten *et al*. (2022).

Com um orçamento de US$ 2 bilhões para o Departamento de Defesa, o Chips for America Defense Fund apoia as necessidades de semicondutores apresentadas pelos setores de defesa e de inteligência. Os recursos estão dedicados a desenvolver atividades de microeletrônica especialmente focadas em parcerias de pesquisa com universidades que facilitem a produção de semicondutores fundamentais para a segurança nacional, inteligência e aplicações em setores de infraestrutura.

O Chips for America International Security and Innovation Fund possui um orçamento de US$ 500 milhões destinados a apoiar as atividades do Departamento de Estado, em coordenação com parceiros internacionais para o desenvolvimento de semicondutores, telecomunicações e outras tecnologias emergentes e suas cadeias de suprimentos.

Posteriormente, adiciona-se ao programa o Chips for America Workforce and Education Fund, subprograma que tem como objetivo promover a qualificação e o treinamento de mão de obra considerando a expectativa de desenvolvimento da capacidade de fabricação de semicondutores. Para esse fim, há um orçamento de US$ 200 milhões gerenciados por meio da NSF.

Por fim, o quarto programa complementar destacado por Kersten *et al*. (2022) é o Public Wireless Supply Chain Innovation Fund. Com um orçamento de US$ 1,5 bilhão, destina-se a apoiar o desenvolvimento de infraestrutura *wireless* (sem fio) e os avanços na tecnologia de banda larga. Os recursos estão previstos a serem investidos em 2022 e 2023.

Adicionalmente, Kersten *et al*. (2022) analisam, na sequência do estudo, o outro grupo de programas complementares, que totalizam um orçamento de US$ 11 bilhões, em que estão incluídas iniciativas para o desenvolvimento de

atividades de P&D e da força de trabalho. São eles: o NSTC (US$ 2 bilhões), o National Advanced Packaging Manufacturing Program (NAPMP) (US$ 2,5 bilhões), o Microeletronic R&D Manufacturing USA Institute (US$ 500 milhões) e o Nist (US$ 6 bilhões), que devem obter, em conjunto, um orçamento de US$ 11 bilhões. Esses programas têm como objetivo estimular as atividades de P&D para o aprimoramento do setor de semicondutores, conforme previsto na seção nº 9.902 do Chips for America Act (United States, 2022b).

A tabela 1 apresenta a forma como esses recursos estão distribuídos entre os programas e ao longo do tempo.

TABELA 1
Programas de incentivos a P&D e ao desenvolvimento da força de trabalho (2022-2026)
(Em US$ bilhões)

	2022	2023	2024	2025	2026	**Total**
NSTC	2,0	0	0	0	0	**2,0**
Embalagem avançada	2,5	0	0	0	0	**2,5**
Outros programas relacionados	0,5	0	0	0	0	**0,5**
Para uso de todos os programas	0	2,0	1,3	1,1	1,6	**6,0**
Total	**5,0**	**2,0**	**1,3**	**1,1**	**1,6**	**11,0**

Fonte: Kersten *et al*. (2022).

Após a aprovação do Programa Chips, em agosto de 2022, algumas iniciativas foram sendo tomadas, entre os meses de setembro e dezembro, pelo governo dos Estados Unidos, com o intuito de iniciar a sua implementação.

Verifica-se um conjunto de discussões desenvolvidas por especialistas e a constituição do Comitê Consultivo Industrial (Industrial Advisory Committee – IAC). Em setembro de 2022, o Departamento do Comércio disponibilizou a lista dos 24 membros que farão a composição do referido comitê, representantes de diversas atividades relacionadas ao setor de semicondutores, tais como da microeletrônica, incluindo especialistas acadêmicos, indústria de semicondutores, laboratórios de pesquisa, entre outras áreas. Trata-se de um órgão consultivo, que não participará da seleção dos beneficiários do programa e desempenhará o papel de orientar o secretário de Comércio sobre questões relacionadas à P&D do setor de semicondutores do país. O comitê não participará da seleção de beneficiários do Programa Chips (Nist, 2022a).

Outra iniciativa que merece destaque diz respeito ao esforço de ampliação da comunicação do governo com a sociedade, tanto fornecendo informações sobre o programa quanto abrindo espaço para a obtenção de opiniões e sugestões do público interessado.

A criação do *site*[10] pode ser considerada uma iniciativa para melhorar a comunicação com a sociedade. Por ele é possível acessar os objetivos do programa e as normativas pertinentes ao seu funcionamento.

Além da criação do *site*, duas iniciativas merecem destaque. Em primeiro lugar, o Nist realiza uma série de webinários para os interessados (representantes de empresas e instituições), com o intuito de explicar detalhadamente o Programa Chips e esclarecer possíveis dúvidas. Além dessas oportunidades *online*, as apresentações ficam disponibilizadas para o público em geral. Em segundo lugar, foi aberto um canal de comunicação com a sociedade (*request for information*), em outubro de 2022, para esclarecer possíveis dúvidas e para coletar sugestões e informações com o objetivo de melhorar a efetividade do programa e, assim, possibilitar o desenvolvimento robusto do setor de semicondutores nos Estados Unidos. Vale ressaltar que esse esforço não é inédito, uma vez que, em janeiro de 2022, antes da promulgação da Lei do Chip, o Departamento do Comércio norte-americano já havia adotado iniciativa semelhante sobre a temática *incentives, infrastructure, and research and development needs to support a strong domestic semiconductor industry* (incentivos, infraestrutura e pesquisa e desenvolvimento necessários para uma indústria doméstica de semicondutores forte). Sendo assim, as respostas e as sugestões dessas duas chamadas auxiliarão na execução mais efetiva do Programa Chips.

Esse canal, aberto em outubro de 2022, para pedidos de informações, abrange dois importantes componentes do Programa Chips: i) a disponibilidade de recursos, via incentivos financeiros, para estimular o investimento na fabricação doméstica de semicondutores; e ii) o apoio à criação de redes e parcerias para o desenvolvimento de pesquisa e inovação, como estratégia para a criação de uma vantagem tecnológica do país no longo prazo.

No que se refere ao primeiro componente do programa, a meta era obterem-se, até meados do mês de dezembro de 2022, por meio do contato com a sociedade, informações em diversas áreas, como listado por Nist (2022b, tradução nossa):

- estruturação dos subsídios, empréstimos e garantias de empréstimos para garantir que agreguem, e não substituam, os investimentos do setor privado;
- identificação dos gargalos mais significativos da cadeia de suprimentos para instalações de fabricação de semicondutores nos Estados Unidos;
- medição da eficácia dos esforços para combater a clonagem, a falsificação e a nova rotulagem de semicondutores;

10. Disponível em: www.chips.gov.

- elaboração de proteções aos contribuintes que impeçam os destinatários de gastar fundos do Programa Chips em recompra de ações ou dividendos; e
- identificação dos tipos de investimentos mais eficazes na promoção do crescimento econômico inclusivo para trabalhadores e comunidades.[11]

Ademais, com esse canal de pedido de informação esperava-se também obter opinião da sociedade em relação a outra iniciativa do Programa Chips quanto ao desenvolvimento de até três novos institutos da Manufacturing USA. Essa rede de institutos tem como objetivo aumentar a liderança dos Estados Unidos na fabricação de semicondutores por meio de pesquisa avançada, colaboração público-privada no desenvolvimento tecnológico, educação e desenvolvimento da mão de obra. Esperava-se captar informações em relação a:

- potenciais áreas de foco de pesquisa, como inteligência artificial para *design* de *chips*, testes e metrologia, novos materiais e muito mais;
- estrutura e governança dos institutos;
- estratégias para impulsionar o coinvestimento de empresas, instituições acadêmicas e outras entidades não federais; e
- formas de as atividades de pesquisa e desenvolvimento serem integradas em programas educacionais para fortalecer a força de trabalho atual e futura (Nist, 2022b, tradução nossa).[12]

Sendo assim, buscava-se por meio dessas iniciativas melhorar a qualidade das informações sobre o Programa Chips para a sociedade e captar a opinião pública sobre a concepção e a implementação de programas de incentivo como forma de estimular o investimento na capacidade de produção doméstica e reduzir a dependência de cadeias de suprimentos estrangeiras.

Ainda que o Programa Chips tenha sido aprovado em meados de 2022, já é possível verificar alguns efeitos no que se refere à expectativa de investimentos de empresas atuantes no setor, como a Intel e a Taiwan Semiconductor Manufacturing Co. (TSMC). Conforme Arcuri (2022, tradução nossa):

---

11. No documento original: "*• Structuring grants, loans and loan guarantees to ensure that they add to, rather than substitute for, private sector investments. • Identifying the most significant supply chain bottlenecks for U.S. semiconductor fabrication facilities. • Measuring the effectiveness of efforts to combat cloning, counterfeiting and relabeling of semicond. • Designing taxpayer protections that prevent recipients from spending CHIPS funds on stock buybacks or dividends. • Identifying the types of investments that have been most effective in promoting inclusive economic growth for workers and communities*".

12. "*• Potential research focus areas, such as artificial intelligence for chip design, testing and metrology, new materials, and many more; • The structure and governance of the institutes; • Strategies for driving co-investment by businesses, academic institutions and other nonfederal entities; • How research and development activities can be integrated into educational programs to strengthen the current and future workforce*".

> várias empresas anunciaram recentemente planos para construir fábricas nos Estados Unidos nos próximos anos, valendo-se de incentivos estaduais e locais e talvez também a partir da expectativa de assistência financeira federal. Após uma oferta de mais de US$ 1 bilhão em subsídios estatais combinados e créditos fiscais do estado de Ohio, a Intel anunciou em janeiro de 2022 que iniciaria a construção de uma fábrica de US$ 20 bilhões em New Albany, em Ohio. Esta operação [no setor de] de semicondutores pode se tornar a maior do planeta se de fato for concretizada. Da mesma forma, a Taiwan Semiconductor Manufacturing Co. – a maior fabricante terceirizada de semicondutores do mundo – destinou US$ 12 bilhões para a construção de uma nova unidade de produção de semicondutores em Phoenix, no Arizona, depois que a cidade concordou em gastar mais de US$ 200 milhões em infraestrutura relacionada, como estradas e melhorias no tratamento de resíduos das águas.[13]

De acordo com documento oficial do governo dos Estados Unidos (The White House, 2022b), com os investimentos adicionais, em torno de US$ 50 bilhões, a fabricação de semicondutores pode alcançar um valor total de cerca de US$ 150 bilhões.

Seitz (2022) considera que a Intel deve se destacar como uma das empresas mais beneficiadas pela Lei do Chip. Estima-se que ela receba de US$ 10 bilhões a US$ 15 bilhões em subsídios do governo dos Estados Unidos nos próximos cinco anos.

A empresa Micron anunciou um investimento de US$ 40 bilhões na produção de *chips* de memória, destinados a computadores e dispositivos eletrônicos. Esse investimento gerará 40 mil novos empregos, além de viabilizar um aumento da participação de mercado dos Estados Unidos de 2% para 10% na próxima década.

A Qualcomm, uma das maiores empresas no mundo de semicondutores, em parceria com a GlobalFoundries, anunciou uma expansão nos investimentos em torno de US$ 4,2 bilhões na unidade produtiva da GlobalFoundries em Nova Iorque (Qualcomm..., 2022).

Ademais, a GlobalFoundries também planeja estabelecer uma parceria entre a SkyWater Technology e a Purdue University, para a construção de uma nova fábrica de US$ 1,8 bilhão e um centro de pesquisa próximo à universidade em West Lafayette (Whalen, 2022).

---

13. No original: "*several corporations have recently announced plans to construct fabs in the United States over the next several years, drawing on state and local level incentives and perhaps also the expectation of federal financial assistance. Following an offer of over $1 billion worth of combined state subsidies and tax credits from the state of Ohio, Intel announced in January 2022 that it would break ground on a $20 billion fab in New Albany, OH. This semiconductor operation could become the largest on Earth if completed. Likewise, Taiwan Semiconductor Manufacturing Co. – the world's largest contract manufacturer of semiconductors – committed $12 billion towards the construction of a new semiconductor campus in Phoenix, Arizona, after the city agreed to spend over $200 million on related infrastructure like roads and wastewater improvements*".

A Apple declarou, por meio de seu diretor-executivo, Tim Cook, em uma reunião interna na Alemanha, que se prepara para adquirir *chips* para seus aparelhos de uma fábrica em construção no Arizona, que iniciará as atividades em 2024, com o objetivo de diminuir a dependência da empresa em relação à produção asiática (Gruman, 2022).

Acredita-se que Cook tenha se referido à empresa TSMC, parceira exclusiva na fabricação de *chips* para a Apple, cuja nova unidade produtiva está sendo construída no Arizona, com previsão de inauguração em 2024. Entretanto, uma questão tecnológica ainda permanece na relação Apple e TSMC, uma vez que a empresa taiwanesa afirma que a unidade terá capacidade inicial de 20 mil *chips* por mês e usará um processo de produção de cinco nanômetros, enquanto a Apple deseja utilizar no curto prazo *chips* mais avançados, de três nanômetros.

Muitos dos recursos disponibilizados no Chips exigem contrapartidas – algumas, um tanto radicais, como a proibição de atividades de manufatura avançada em semicondutores na China. Isto se constitui num claro e declarado movimento de evitar que tecnologias de fronteira dominadas pelos Estados Unidos sejam absorvidas pelos chineses e forneçam insumos para seu próprio processo de convergência tecnológica.

De fato, no discurso do *State of the Union* de 2023, realizado na Casa Branca, em 7 de fevereiro de 2023, o presidente Biden deixou clara a relevância da indústria de semicondutores não para a indústria de alta tecnologia, mas para o cidadão comum no século XXI. Nessa ocasião, essa indústria foi tratada como estratégica, inclusive do ponto de vista geopolítico.

> Semicondutores – pequenos *chips* de computador do tamanho de uma impressão digital que compõem tudo, de celulares a automóveis e muito mais. Esses *chips* foram inventados na América. Vamos ver se entendi: eles foram inventados na América. E costumávamos produzir 40% dos *chips* do mundo. Nas últimas décadas, perdemos nossa vantagem. Estamos produzindo apenas 10%.
>
> (…)
>
> Os automóveis de hoje precisam de 3 mil *chips* – cada um desses automóveis – mas as montadoras americanas não conseguiam fabricar carros suficientes porque não havia *chips* suficientes.
>
> Os preços dos carros subiram. Pessoas foram demitidas. O mesmo aconteceu com tudo, de geladeiras a telefones celulares.

> Nunca podemos deixar isso acontecer novamente. É por isso que nos reunimos para aprovar, com apoio bipartidário, a Lei do Chip e da Ciência (Biden, 2023, tradução nossa).[14]

Como se verá em seção específica, nessa estratégia de enfrentamento da fragmentação da produção de semicondutores, não apenas com a China as relações foram diretamente afetadas, mas também com Taiwan, o maior produtor mundial de *chips*.

Considerando-se as históricas tensões geopolíticas entre Taiwan e a China continental, que parecem estar perto de um ponto de ebulição, o Programa Chips contribui para o aumento da tensão na região. A guerra comercial, já declarada, fornece combustível para tensões que transcendem às relações econômicas entre os países envolvidos.

2.1 Impactos potenciais

A avaliação de impactos da política industrial norte-americana, mesmo quando executada de maneira implícita, não é estranha à análise econômica (Garone e Maffioli, 2016; Criscuolo *et al.*, 2022), seja quando se estudam os incentivos fiscais (Hall, 2020), o financiamento (Azoulay *et al.*, 2019) ou as compras públicas (Rauen, 2017a; 2017b).

No contexto tratado neste capítulo, destaca-se a análise *ex ante* de Mazewski e Flores (2022b), que avalia os efeitos esperados do Programa Chips utilizando-se da metodologia Data for Progress Jobs Model,[15] que os autores já haviam aplicado para avaliar o programa Usica. No caso deste último, encontraram que o programa contribuiria com cerca de US$ 287 bilhões no PIB dos Estados Unidos e criaria, ou preservaria, em torno de 2,8 milhões de empregos entre 2022 e 2026 (Mazewski e Flores, 2022a).

Para a realização dessa avaliação, os autores consideraram apenas o total de US$ 52,7 bilhões para o Programa Chips, destinados à indústria de semicondutores e distribuídos em subprogramas, ao longo do período 2022-2026. A tabela 2 apresenta os investimentos anuais autorizados para o Programa Chips a partir da Lei Usica, no período 2022-2026, divididos em três subprogramas: Chips

---

14. "*Semiconductors – small computer chips the size of a fingerprint that power everything from cellphones to automobiles and so much more. These chips were invented in America. Let's get that straight: They were invented in America. And we used to make 40 percent of the world's chips. In the last several decades, we lost our edge. We're down to only producing 10 percent. (…) Today's automobiles need 3,000 chips – each of those automobiles – but American automakers couldn't make enough cars because there weren't enough chips. Car prices went up. People got laid off. So did everything from refrigerators to cellphones. We can never let that happen again. That's why – that's why we came together to pass the bipartisan Chips and Science Act*".

15. Baseia-se num modelo de *input-output* empregado de forma a medir impactos *ex ante*. Esse modelo pode ser considerado uma representação simplificada de uma economia, que utiliza dados de *inputs* das indústrias obtidos no Bureau of Economic Analysis (BEA) para, assim, calcular os efeitos gerados sobre indicadores macroeconômicos, como produto interno bruto (PIB) e emprego (Mazewski e Flores, 2022b, p. 11).

for America Fund; Chips for America Defense Fund; e Chips for America Internationcal Security and Innovation Fund.

TABELA 2
Total de investimentos autorizados para o Programa Chips na Lei Usica (2022-2026)
(Em US$ bilhões)

	2022	2023	2024	2025	2026	**Total**
Chips for America Fund	24,0	7,0	6,3	6,1	6,8	**50,2**
Chips for America Defense Fund	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	**2,0**
Chips for America International Technology Security and Innovation Fund	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	**0,5**
Total	**24,5**	**7,5**	**6,9**	**6,6**	**7,3**	**52,7**

Fonte: Mazewski e Flores (2022b).

A tabela 3 apresenta os resultados das estimativas para os efeitos agregados na geração de emprego a partir do Programa Chips, considerando três tipos de empregos (diretos, indiretos e induzidos) e o total.

No que tange aos efeitos sobre o emprego total, estima-se que o Programa Chips, no período de 2022-2026, seja capaz de criar ou preservar 366.880 empregos diretos e indiretos, e um total de 513.630 empregos diretos, indiretos e induzidos.

TABELA 3
Efeitos do Programa Chips na criação de empregos por ano (2022-2026)
(Em número de empregos)

Empregos criados ou preservados	2022	2023	2024	2025	2026	**Total**
Diretos	36.589	10.832	9.722	9.280	9.961	**76.384**
Indiretos	136.139	42.897	37.224	35.140	39.096	**290.496**
Induzidos	69.091	21.491	18.778	17.768	19.622	**146.750**
Total	**241.819**	**75.220**	**65.724**	**62.188**	**68.679**	**513.630**

Fonte: Mazewski e Flores (2022b).

Na tabela 4, os autores mostram a projeção do impacto que o Programa Chips deve gerar sobre o PIB dos Estados Unidos no período 2022-2026. A contribuição total esperada é de US$ 62,3 bilhões, o que significaria cerca de US$ 12,5 bilhões por ano. De acordo com Mazewski e Flores (2022a; 2022b), esse valor representa cerca de um quinto do efeito total da Lei Usica sobre o PIB. Esse resultado foi obtido a partir da estimação de um efeito de cerca de US$ 287 bilhões sobre o PIB dos Estados Unidos.

TABELA 4
Efeitos do Programa Chips no valor adicionado sobre o PIB dos Estados Unidos (2022-2026)
(Em US$ bilhões de 2022)

	2022	2023	2024	2025	2026	**Total**
Aumento líquido anual no valor adicionado – cenário base	29,71	8,93	7,92	7,53	8,18	**62,27**

Fonte: Mazewski e Flores (2022b).

Em suma, estima-se que o Programa Chips crie ou preserve pouco mais de meio milhão de empregos nos próximos cinco anos, contribuindo com mais de US$ 60 bilhões para o PIB.

É relevante mencionar, entretanto, que o modelo empregado pelos autores possui importantes limitações, principalmente relacionadas ao fato de que lineariza os choques no mercado de trabalho e é mais adequado para choques de demanda.

Na medida em que a maior parte dos bens e serviços atualmente transacionados na moderna economia tem semicondutores embarcados, ou tem o potencial de tê-los, a estratégia industrial norte-americana encontra-se inserida num contexto maior, em que diferentes economias igualmente líderes em tecnologia também se preocupam com o desenvolvimento nacional do setor.

De fato, esse parece ser o caso de uma corrida tecnológica que atualmente tem a China na liderança, mas na qual ninguém se encontra parado. Os demais países se esforçam para achar nichos de mercado ou para acelerar o desenvolvimento tecnológico a ponto de se tornarem líderes ao promoverem uma ultrapassagem – ou, como no caso norte-americano, recuperarem a liderança perdida.

Nesse sentido, ainda que vários países busquem melhorar seu posicionamento na indústria de semicondutores por meio de políticas de apoio ao setor, a disputa pela liderança mundial vem se concentrando na China e nos Estados Unidos. Essa luta entre os dois países pela liderança nas pesquisas científicas, no desenvolvimento tecnológico e na produção da indústria de semicondutores vem desencadeando um conjunto de outras ações dos Estados Unidos – e de outros países ocidentais – para impedir a consolidação da liderança tecnológica da China no comércio internacional.

3 A GUERRA COMERCIAL ENTRE CHINA E ESTADOS UNIDOS

A China há alguns anos vem empreendendo importantes ações para o aprimoramento da indústria de semicondutores no país. Uma das mais emblemáticas iniciou-se em 2015 com a implementação do programa Made in China 2025, cujo objetivo era desenvolver tecnologias-chave da indústria de tecnologias de informação e de comunicação (TICs).

O objetivo era alcançar o investimento de cerca de US$ 161 bilhões até 2025 no desenvolvimento de indústrias de alta tecnologia, priorizando a de semicondutores. Segundo Deng e Deng (2002, p. 12), "o governo estimulou a meta de elevar a autossuficiência no consumo de semicondutores e aumentar a participação da indústria doméstica no consumo interno, de cerca de 10% em 2015, para 40% em 2020 e posteriormente para 70%, em 2025".

Entretanto, esses mesmos autores apontam uma série de limitações tanto na gestão do programa pelo governo chinês quanto pela própria dinâmica do setor, que culminaram na necessidade de se calcular uma nova estimativa para a produção chinesa de semicondutores em 2025 abaixo do planejado inicialmente. De acordo com Deng e Deng (2022), a nova estimativa indica que a produção doméstica de semicondutores em 2025 alcance 19,4% do total do consumo doméstico, sendo que a metade da produção está sob o controle de empresas estrangeiras.

Mesmo com diversas dificuldades na redução da sua dependência em relação aos fornecedores externos de semicondutores, a China vem buscando liderança no desenvolvimento das pesquisas científicas sobre o setor. Um importante indicador que reflete o esforço chinês em superar suas fragilidades na cadeia produtiva de semicondutores é a intensidade da pesquisa acadêmica em temas relacionados.

Isso porque, pela primeira vez, a China ultrapassa os Estados Unidos e passa a ocupar o primeiro lugar em artigos aceitos pela Conferência Internacional de Circuitos de Estado Sólido (International Solid-State Circuits Conference – ISSCC), que ocorrerá em 2023. Esse evento é considerado uma das principais convenções acadêmicas internacionais na área de semicondutores. Com a liderança, a China deixa os Estados Unidos em segundo lugar, a Coreia do Sul em terceiro, Taiwan em quarto, e o Japão e a Holanda empatados em quinto lugar. Dos 198 aceitos na ISSCC, 30% deles (59 artigos) são de autoria de pesquisadores chineses. Vale observar o expressivo aumento em relação à conferência anterior, em que os trabalhos da China representavam 14,5% do total. Destaca-se, ainda, a atuação da Universidade de Macau (quinze trabalhos aceitos) e da Universidade Tsinghua, de Pequim (quinze). Entre as empresas participantes destacam-se: Samsung Electronics, com oito artigos; Intel, com seis; e TSMC, com dois (China..., 2022).

Os Estados Unidos aprovaram no final de 2022 diversas restrições comerciais ao mercado americano de semicondutores por empresas chinesas. Em 7 de outubro de 2022, o Departamento de Comércio dos Estados Unidos publicou um conjunto de regras para o controle de exportações, que incluía o corte total do acesso da China a semicondutores produzidos com tecnologia norte-americana, independentemente do lugar do mundo em que eles são fabricados (Borg, 2022).

Um impacto imediato dessas restrições se deu nas relações comerciais da TSMC, empresa que atende a diversos clientes no mundo ocidental, mas também a clientes na China, que terão seu fornecimento interrompido.

As empresas Alibaba Group e Biren também foram afetadas pelas sanções comerciais dos Estados Unidos. Como reação, para não saírem do mercado, ambas começaram a adaptar seus produtos, alterando as especificações de seus *chips* para se enquadrarem às especificações permitidas à TSMC para imprimi-los, mesmo diante das sanções.

Seguindo a mesma tendência de países ocidentais como os Estados Unidos, em novembro de 2022, o governo do Reino Unido impediu a compra da fabricante de *chips* Newport Wafer Fab pela Nexperia com a justificativa de que a aquisição seria um risco para a segurança nacional.

A Nexperia é uma empresa holandesa controlada pelo grupo chinês Wingtech, que em julho de 2022 havia comprado 86% das ações da Newport, alcançando 100% do capital da empresa. A Newport é uma empresa do País de Gales e uma das maiores produtoras de semicondutores do país.

De acordo com os representantes do governo do Reino Unido, a aquisição da fabricante de semicondutores apresenta risco para a segurança nacional tanto por afetar a capacidade do país de expandir sua atuação no setor quanto pelo fato de que, segundo as autoridades britânicas, a aquisição de empresas ligadas à tecnologia por empresas chinesas possibilitaria "roubar informações governamentais e comerciais" (Borg, 2022).

A China, por sua vez, por meio do Ministério das Relações Exteriores, coloca-se numa posição crítica às sanções dos Estados Unidos e dos demais países ocidentais e afirma que tais medidas também afetarão o mercado ocidental, dado que as empresas serão impedidas de vender componentes e fornecer tecnologia a um dos maiores mercados mundiais.

Pelo exposto, é possível verificar um conjunto de ações e reações sendo desenhadas nas relações comerciais e no desenvolvimento tecnológico do setor de semicondutores no mundo, refletindo de maneira mais abrangente conflitos e disputas por poder e pela liderança mundial entre a China e os Estados Unidos.

A disputa dos Estados Unidos com a China pelo domínio das tecnologias dos segmentos de semicondutores não é nova. Apesar da existência histórica de diversos esforços da China – por exemplo, o plano Made in China 2025 –,[16] a fragilidade do país nesse setor intensificou-se nos anos 2020 diante da política

16. Programa implementado por Pequim em 2015 cujo objetivo final é reduzir a dependência estrangeira e transformar a China em uma superpotência industrial e tecnológica.

agressiva dos Estados Unidos, baseada em restrições comerciais, durante a gestão de Donald Trump. Para Diegues e Roselino (2021), as históricas restrições impostas pelos Estados Unidos se dividiam em três blocos. O primeiro se refere à proibição imposta a qualquer empresa que utilize tecnologia de origem americana em qualquer etapa da produção de comercializar seus produtos e serviços com as principais empresas chinesas. O segundo bloco refere-se a pressões sobre as empresas-chave da cadeia de suprimentos de semicondutores para encerrarem parcerias com empresas chinesas, como o caso do impedimento da venda de circuitos integrados da taiwanesa TSMC para empresas da China e o caso do impedimento da venda de equipamentos de litografia avançados pela holandesa ASML à principal fabricante chinesa de *chips* semicondutores, a Semiconductor Manufacturing International Corp (SMIC). O terceiro e último bloco diz respeito à exigência de que os países aliados restrinjam o acesso de empresas e tecnologias chinesas a seus mercados, como no caso da tecnologia 5G. O Programa Chips agravou ainda mais essas tensões historicamente já existentes.

Outro importante aspecto que deve ser levado em conta diz respeito às preocupações dos produtores mundiais de semicondutores quanto à possibilidade de haver excesso de oferta de curto prazo até meados de 2023 e 2024, quando, mesmo com a demanda mantendo uma trajetória de queda, considerando seu acelerado crescimento durante os primeiros anos da pandemia e o aumento do consumo, especialmente de computadores pessoais, algumas novas instalações iniciarão suas operações.

Diante desse cenário, algumas empresas de *chips* anunciaram cortes para redução de custos a partir de agosto de 2022. A empresa Intel, por exemplo, afirma que reduzirá os custos em US$ 10 bilhões até 2025 e dispensará um número ainda indeterminado de pessoas. A Qualcomm, por sua vez, anunciou cortes de gastos em algumas áreas e interrompeu novas contratações.

De acordo com Irwin-Hunt (2022), é importante compreender que o comportamento do setor é heterogêneo, considerando-se a diversidade de *chips* produzidos e comercializados. Verificam-se, por isso, comportamentos distintos, ocorrendo um possível excesso de oferta em áreas como eletroeletrônicos, enquanto para os *chips* usados em veículos elétricos e aplicações industriais a demanda mantém-se elevada.

Ademais, de maneira geral, as perspectivas de longo prazo para a indústria de *chip* sinalizam uma demanda em geral crescente. Espera-se que a indústria de semicondutores quase dobre de tamanho até 2030 e ultrapasse as vendas globais de US$ 1 trilhão (Irwin-Hunt, 2022).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo teve por objetivo lançar luz sobre uma ampla política industrial que parece ainda estar em construção. Trata-se de um primeiro esforço de organização de informações, dados e conhecimentos que estão dispersos e que são apresentados continuamente.

Nesse sentido, este texto se constitui num material de referência para consulta de gestores brasileiros que desejam iniciar seus esforços de pesquisa sobre o enorme Programa Chips. Assim, em resumo, tal programa é caracterizado por: i) montante total superior a R$ 1,4 trilhão;[17] ii) múltiplas agências envolvidas; iii) preocupação com aplicações concretas; iv) reconhecimento da necessidade de se manter na fronteira do conhecimento para garantir a hegemonia, inclusive na manufatura; v) movimento ousado e agressivo no sentido de reverter processos históricos de fragmentação da produção; e vi) coesão política em torno do objeto, com liderança do presidente da República.

Considerando-se o exposto, algumas questões se colocam para o Brasil. As mais contundentes parecem ser: como a economia brasileira, e não só a indústria, se posicionará nas cadeias de valor dos semicondutores? É possível promover um novo processo de industrialização sem dominar tal tecnologia? Quais os ativos materiais e imateriais que o país já possui e que podem ser empregados nessas estratégias?

REFERÊNCIAS

ARCURI, G. **The FABS Act**: an essential component for incentivizing semiconductor manufacturing in the United States? Washington D.C.: CSIS, 2022. Disponível em: www.csis.org/blogs/perspectives-innovation/fabs-act-essential-component-incentivizing-semiconductor-manufacturing.

ATKINSON, R. **Computer Chips vs. Potato Chips**: the case for a U.S. strategic-industry policy. Washington D.C.: ITIF, jan. 2022.

AVELLAR, A. P. M. de. **Análise preliminar do programa norte-americano Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors (Chips)**. Rio de Janeiro: Ipea, jun. 2023. (Nota Ténica). Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/11808.

AZOULAY, P. *et al*. Public R&D investments and private-sector patenting: evidence from NIH funding rules. **Review of Economic Studies**, v. 86, n. 1, p. 117-152, 2019.

17. De acordo com a taxa de câmbio anual para 2022 de R$ 5,164, de acordo com o Banco Central do Brasil.

BADLAM, J. *et al*. **The Chips and Science Act**: here's what's in it. McKinsey's Public Sector Practice. Atlanta: McKinsey and Company, 4 out. 2022. Disponível em: https://www.mckinsey.com/industries/public-and-social-sector/our-insights/the-chips-and-science-act-heres-whats-in-it.

BIDEN, J. **State of the Union Address**. Washington D.C.: White House, 7 fev. 2023. Disponível em: https://www.whitehouse.gov/state-of-the-union-2023/.

BITTENCOURT, P. F.; RAUEN, A. T. Políticas de inovação: racionalidade, instrumentos e coordenação. *In*: RAPINI, M. S. *et al*. **Economia da ciência, tecnologia e inovação**. 2. ed. Belo Horizonte: FACE/UFMG, 2021.

BONVILLIAN, W. **Emerging industrial policy approaches in the United States**. Washington D.C.: ITIF, 2021.

BORG, P. Governo britânico impede que empresa da China compre fabricante de *chips*. **Valor Econômico**, 17 nov. 2022. Disponível em: https://valor.globo.com/mundo/noticia/2022/11/17/governo-britnico-impede-que-empresa-da-china-compre-fabricante-de-chips.ghtml.

CHINA supera EUA em pesquisa acadêmica na área de semicondutores. **Valor Econômico**, 16 nov. 2022. Disponível em: https://valor.globo.com/mundo/noticia/2022/11/18/china-supera-eua-em-pesquisa-acadmica-na-rea-de-semicondutores.ghtml.

CRISCUOLO, C. *et al*. **Are industrial policy instruments effective?** A review of the evidence in OECD countries. Paris: OECD, 2022. (OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, n. 128).

DENG, B. L.; DENG, B. S. A economia política da indústria de semicondutores e o recente desenvolvimento limitado da República Popular da China (2014-2021). **Revista de Economia Contemporânea**, Rio de Janeiro, v. 26, p.1-25, 2022.

DI TOMMASO, M. R.; SCHMEITZER, S. O. **Industrial policy in America**: breaking the taboo. Cheltenham: Edward Elgar, 2013.

DIEGUES, A. C.; ROSELINO, J. E. **Política industrial, tecno-nacionalismo e indústria 4.0**: a guerra tecnológica entre China e Estados Unidos. Campinas: Unicamp, 2021. (Texto para Discussão, n. 401).

FELDGOISE, J.; SHEEHAN, M. Two new tech bills could transform U.S. innovation – if Congress Acts. **Carnegie Endowment for International Peace**, 10 fev. 2022. Disponível em: https://carnegieendowment.org/2022/02/10/two-new-tech-bills-could-transform-u.s.-innovation-if-congress-acts-pub-86416.

GARONE, L. F.; MAFFIOLI, A. Evaluación de impacto de políticas de innovación em América Latina y el Caribe. *In*: NAVARRO, J. C.; OLIVARI, J. (Ed.). **La política de innovación en América Latina y el Caribe**: nuevos caminhos. Washington D.C.: BID, 2016.

GRUMAN, M. Apple pretende comprar *chips* de fábricas americanas a partir de 2024. **Valor Econômico**, 18 nov. 2022. Disponível em: https://valor.globo.com/empresas/noticia/2022/11/16/apple-pretende-comprar-chips-de-fabricas-americanas-a-partir-de-2024.ghtml.

HALL, B. **Tax policy for innovation**. Cambridge: NBER, 2020. (Working Paper, n. 25773).

HUFBAUER, G. C.; JUNG, E. Scoring 50 years of US industrial policy, 1970-2020. **PIIE Briefing**, n. 21-5, nov. 2021.

IRWIN-HUNT, A. Chips producers now face overcapacity risk. **fDi Intelligence**, 16 nov. 2022. Disponível em: http://bit.ly/3nuyT4F.

KERSTEN, A. *et al*. **A look at the Chips-related portions of Chips+**. Washington D.C.: CSIS, 9 ago. 2022. Disponível em: https://www.csis.org/analysis/look-chips-related-portions-chips.

LEE, R. Chips Act tax credit ambiguities. **The National Law Review**, v. XII, n. 234. 22 ago. 2022. Disponível em: https://www.natlawreview.com/article/chips-act-tax-credit-ambiguities.

LEE, T. Industrial policy: America Competes Act and Usica. **American Action Forum**, 1º fev. 2022. Disponível em: https://www.americanactionforum.org/insight/industrial-policy-america-competes-act-and-usica/.

LEE, T.; LONDOÑO, J. The United States Innovation and Competition Act (Usica): a primer. **American Action Forum**, 9 jun. 2021. Disponível em: https://www.americanactionforum.org/insight/the-united-states-innovation-and-competition-act-usica-a-primer/.

MAZEWSKI, M.; FLORES, C. Economic impacts of the US Innovation and Competition Act. **Data for Progress**, 10 mar. 2022a. Disponível em: https://www.dataforprogress.org/memos/2022/3/10/economic-impacts-of-usica.

_____. Economic impacts of the Chips for America Act. **Data for Progress**, 19 maio 2022b. Disponível em: https://www.dataforprogress.org/memos/economic-impacts-of-the-chips-for-america-act.

MAZZUCATO, M.; ANDREONI, A.; CONWAY, R. **Mission-oriented innovation in the USA**. Shaping markets toward grand challenges: a new industrial policy frontier. London: IIPP, 2021. (IIPP Policy Note, n. 001).

MIT – MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. MIT report identifies keys to new American innovation. **MIT News**, 22 fev. 2013. Disponível em: https://news.mit.edu/2013/production-in-the-innovation-economy-report-mit-0222.

NIST – NATIONAL INSTITUTE OF STANDARD AND TECHNOLOGY. **U.S. Department of Commerce appoints first members to industrial advisory committee**. Washington D.C.: DOC, 29 set. 2022a. Disponível em: https://www.commerce.gov/news/press-releases/2022/09/us-department-commerce-appoints-first-members-industrial-advisory.

_____. Chips for America seeks public input on financial incentives, new institutes for semiconductor manufacturing. **Nist News**, 13 out. 2022b. Disponível em: https://www.nist.gov/news-events/news/2022/10/chips-america-seeks-public-input-financial-incentives-new-institutes.

NSF – NATIONAL SCIENCE FOUNDATION. NSF establishes new directorate for technology, innovation and partnerships. **NSF News**, 16 mar. 2022. Disponível em: https://beta.nsf.gov/news/nsf-establishes-new-directorate-technology-innovation-and-partnerships.

QUALCOMM to spend $ 4.2 billion more on chips from Global Foundries. **Reuters**, 8 ago. 2022. Disponível em: https://www.reuters.com/technology/qualcomm-globalfoundries-sign-pact-double-chip-manufacturing-2022-08-08/.

RAUEN, A. **Risco e incerteza na aquisição pública de P&D**: a experiência norte-americana. Brasília: Ipea, 2017a.

_____. (Org.). **Políticas de inovação pelo lado da demanda no Brasil**. Brasília: Ipea, 2017b.

SEITZ, P. These semiconductor stocks are likely to benefit most from Chips Act Aid. **Investor's Business Daily**, 18 ago. 2022. Disponível em: https://www.investors.com/news/technology/chips-act-semiconductor-stocks-likely-to-benefit/.

SIA – SEMICONDUCTOR INDUSTRY ASSOCIATION. **Enact bipartisan competitiveness legislation to strengthen semiconductor research, design, and manufacturing in the U.S**. Washington D.C.: SIA, 2022. Disponível em: https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2022/05/SIA_CHIPS-FAB-Factsheet.pdf.

THE WHITE HOUSE. The American Jobs Plan. **Fact Sheet**. Washington D.C.: White House, 31 mar. 2021. Disponível em: https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/03/31/fact-sheet-the-american-jobs-plan/.

_____. The Biden-Harris plan to revitalize american manufacturing and secure critical supply chains in 2022. **Statements and Releases**. Washington D.C.: White House, 24 fev. 2022a. Disponível em: https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/02/24/the-biden-harris-plan-to-revitalize-american-manufacturing-and-secure-critical-supply-chains-in-2022.

_____. Chips and Science Act will lower costs, create jobs, strengthen supply chains, and counter China. **Fact Sheet**. Washington D.C.: White House, 9 ago. 2022b. Disponível em: https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/08/09/fact-sheet-chips-and-science-act-will-lower-costs-create-jobs-strengthen-supply-chains-and-counter-china/.

TUCKER, T. **Industrial policy and planning**: what it is and how to do it better. New York: Roosevelt Institute, 2019.

UNIDO – UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. **Industrial development report 2022**: the future of industrialization in a post-pandemic world. Vienna: Unido, 2021.

UNITED STATES. Department of Commerce. **Incentives, infrastructure, and research and development needs to support a strong domestic semiconductor industry**. Federal Register. Washington D.C.: DOC, 24 jan. 2022a.

_____. **A strategy for the Chips for America Fund**. Washington D.C.: DOC, set. 2022b.

WHALEN, J. A new era of industrial policy kicks off with signing of the Chips Act. **The Washington Post**, 9 ago. 2022. Disponível em: https://www.washingtonpost.com/us-policy/2022/08/09/micron-40-billion-us-subsidies/.

CAPÍTULO 11

INTERESSE COMERCIAL DOS RESULTADOS DA PESQUISA ACADÊMICA EM PROGRAMAS DE COMPUTADOR

André Rauen[1]
Eduardo Toshiro Fujito[2]
Marcos Rezende[3]

1 INTRODUÇÃO

A relação universidade-empresa no Brasil já foi amplamente estudada (Albuquerque, Cario e Suzigan, 2011; Suzigan e Albuquerque, 2008; Rauen, 2016; Garcia e Suzigan, 2021 e tantos outros). Os resultados recentes – que são, em certa medida, distintos daquilo que se observou no passado, apesar de casos atuais de sucesso isolados – apresentam uma dinâmica insuficiente para garantir os necessários aumentos de produtividade da economia brasileira e/ou da criação de soluções práticas aos históricos problemas socioeconômicos do país.

Não obstante, diferenças setoriais derivadas de trajetórias tecnológicas específicas não são tão conhecidas. Isto é, parece existir certa noção a respeito do comportamento geral dessa relação recente, mas são parcas as evidências sobre, por exemplo, setores cuja fonte de informação para inovação dependem de conhecimento novo criado em ambiente acadêmico. Esse é o caso, por exemplo, da atividade econômica de desenvolvimento de programas de computador, cuja trajetória tecnológica mundial é marcada pela alta cumulatividade do conhecimento e pela alta oportunidade tecnológica. Assim, seria legítimo esperar alguma distinção na relação universidade-empresa nesses casos específicos.

Este capítulo não tem por objetivo testar tal hipótese, mas sim apresentar argumentos, com embasamento empírico robusto, que permitam inferir sobre sua validade ou não. De fato, trata-se de um esforço exploratório que parte das características da trajetória tecnológica mundial da atividade de desenvolvimento de programas de computador e procura observar como suas idiossincrasias e lógica técnico-econômica influenciam o interesse comercial dos resultados da pesquisa acadêmica.

1. Assessor especial na Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI).
2. Auditor federal de finanças e controle na Controladoria-Geral da União (CGU).
3. Auditor federal de finanças e controle na CGU.

Este estudo se justifica, primeiro, pela relevância que o desenvolvimento de *softwares* possui diante da moderna dinâmica econômica e, em segundo lugar, pelo fato de que a trajetória tecnológica da atividade nos países de alta renda *per capita* tenderia a estimular uma intensa relação universidade-empresa (Chedid, Carvalho e Teixeira, 2020). Ou seja, esta pesquisa pretende fornecer evidências relevantes sobre os limites e possibilidades de parte do sistema brasileiro de inovação, bem como aprofundar o conhecimento sobre a relação universidade-empresa no Brasil, principalmente em setores cuja pesquisa acadêmica possui, relativa e teoricamente, mais pertinência.

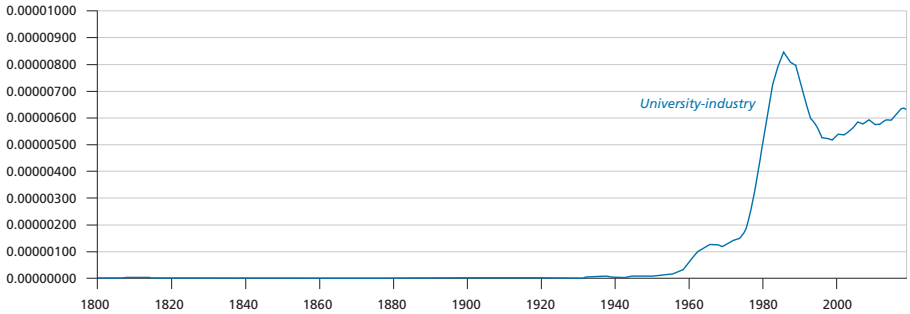
Para atingir seu objetivo, o capítulo se apoia no conceito neoschumpeteriano de trajetória tecnológica, que é observado à luz de uma base inédita e censitária de dados referentes à propriedade intelectual (PI) de Instituições Federais de Ensino Superior (Ifes) brasileiras.[4] Sendo assim, o capítulo se divide em quatro outras seções. A seção 2 apresenta uma breve discussão sobre a relevância da pesquisa acadêmica para o desenvolvimento de programas de computador ou *software*, salientando a trajetória tecnológica do setor no mundo. Na terceira seção, apresenta-se a metodologia do trabalho, destacando-se seu ineditismo e sua cobertura. A quarta seção apresenta os resultados em termos do interesse comercial pela pesquisa em programas de computador realizada nas Ifes. Na quinta seção, os resultados são analisados a partir da fundamentação teórica neoschumpeteriana mencionada. Por fim, tem-se as conclusões.

2 RELAÇÃO UNIVERSIDADE-EMPRESA E A TRAJETÓRIA TECNOLÓGICA RECENTE DA ATIVIDADE DE DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMAS DE COMPUTADOR

Os estudos sobre a relação universidade-empresa se iniciam em meados dos anos 1970 e atingem seu auge em meados dos anos 1980, justamente quando os Estados Unidos aprovam o Bayh-Dole Act, que incrementou as possibilidades legais da relação universidade-empresa no país (gráfico 1). Portanto, a análise empírica formal dessa relação ainda é recente e tem sido tratada nos campos da economia, da sociologia e da administração, mas, sobretudo, na subárea dos estudos das políticas de ciência, tecnologia e inovação (CT&I).

4. Refere-se ao conjunto das 69 universidades criadas por lei federal, vinculadas ao Ministério da Educação (MEC) e mantidas pela União. No apêndice, é apresentada a lista extraída do sistema e-MEC, adicionada a Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT), ainda não registrada no sistema.

GRÁFICO 1
Evolução dos livros em língua inglesa com títulos contendo a expressão *university-industry*
(Em %)



Fonte: Google Ngram Viewer. Disponível em: https://books.google.com/ngrams/graph?content=%5Buniversity+-+industry%5D&year_start=1800&year_end=2019&corpus=en-2019&smoothing=3.

Nesse contexto, a definição do conceito de tripla hélice por Etzkowitz e Leydesdorff (2000) pode ser tomada como ponto de partida para o atual conjunto de estudos que tem impactado a gestão pública atual, e mesmo as estratégias de inovação das próprias Ifes brasileiras. O principal argumento dos autores é o de que o processo de desenvolvimento baseado em uma sociedade do conhecimento depende de uma relação virtuosa entre universidade-indústria e governo.

Nessa conhecida tríade, as universidades seriam as responsáveis pela geração de conhecimento e mão de obra qualificada; a indústria contribuiria por meio da prospecção de oportunidades, comercialização de novas tecnologias e a criação de novos empregos; e o governo estabeleceria as condições regulatórias de cooperação e o financiamento à pesquisa (pública e privada), além de ficar à frente de políticas ativas de estímulo à inovação.

Contudo, esses três agentes não são monolíticos nem se comportam de maneira homogênea. Da parte da tríade de interesse deste capítulo, as universidades, pode-se afirmar, com certa segurança empírica, são compostas por um grupo extremamente heterogêneo, tanto em países desenvolvidos quanto em países em desenvolvimento, como o Brasil.

Isso porque a entidade "universidade" também pode considerar centros menores, que não necessariamente realizam as três clássicas funções de ensino, pesquisa e extensão. Muitas se concentram apenas no ensino. Adicionalmente, mesmo as instituições que realizam essa tripla função definidora do conceito de universidade moderna são muito distintas entre si. Ainda que estejam situadas em um sistema de inovação incompleto e tecnologicamente dependente, como é o brasileiro (Albuquerque, 1999; Rauen, 2014), coexistem instituições altamente internacionalizadas que perseguem atividades científicas de excelência com

instituições regionais voltadas à oxigenação do tecido produtivo local no qual estão inseridas.[5] Portanto, não há um único tipo de universidade.

O conceito da tripla hélice, que já foi inclusive expandido e transformado em quinta hélice (universidade-governo-indústria-sociedade civil e meio ambiente, tal como proposto por Carayannis e Campbell, 2010), dá grande ênfase à universidade como produtora de conhecimento socialmente útil. Ou seja, a formação livre e a busca de conhecimento guiado pela curiosidade aconteceriam, mas não seriam centrais. Por mais lógica que seja tal crítica, pois se trata de uma relação com o mercado que em última instância produz os bens e serviços comercializados, ela implica uma visão excessivamente utilitarista da universidade, principalmente quando esse paradigma teórico passa a dominar as instâncias políticas mais importantes.

Adicionalmente, como demonstra Hughes (2007), tal conceituação não considera as relações assimétricas de poder, as agendas políticas dos agentes e o próprio contexto em que se processa essa relação. Ou seja, existe uma economia política e uma sociologia da tripla hélice que são ainda pouco abordadas. De fato, soluções do tipo receita de bolo para países em desenvolvimento, baseadas no modelo da tripla hélice, são bem conhecidas na política de inovação contemporânea.

Hughes (2007) chega a afirmar que a execução de intervenções públicas semelhantes às da tripla hélice, fora do contexto norte-americano, se aproximariam da anedótica *cargo culture* que se observa em determinadas ilhas da Polinésia, na qual os habitantes locais reproduzem os maneirismos das antigas tropas dos Estados Unidos na esperança de receber cargo ou artefatos que facilitariam suas vidas: "*Cult members were encouraged to abandon previous cultural practices and often mimicked the behavioral characteristics of Americans*" (Hughes, 2007, p. 101).

Uma análise mais detalhada das teorizações de tripla, quádrupla ou quíntupla hélice mostra que existe grande simplificação da relação entre instituições com lógicas distintas, assunção (equivocada) de simetria de poder, ausência de contexto local, excesso de ênfase no formal e um viés demasiadamente científico da inovação, ou seja, a ideia de que inovações sempre dependem de conhecimento universitário novo.

Mas é justamente com base nessas teorizações que se desenhou o *mainstream* da moderna política de inovação no Brasil, tanto nos níveis nacionais quanto subnacionais. De fato, é dentro desse espírito que se constroem os atuais instrumentos de fomento à relação da universidade com a sociedade, como a possibilidade de remunerar atividades de pesquisa pública, dividir a PI com agentes privados,

5. O artigo seminal de Etzkowitz e Leydesdorff (2000) foi também extremamente relevante para a construção de uma nova prática política de desenvolvimento regional que busca criar um ciclo virtuoso entre espaço geográfico, criatividade e desenvolvimento.

permitir que o professor universitário em regime de dedicação exclusiva abra uma *startup* e nela trabalhe e tantas outras novas permissões legais.

Como se verá, é justamente a adoção desse modelo teórico que fundamenta ações do tipo vitrine tecnológica nas universidades brasileiras e que se apoiam no excedente de tecnologias ainda não comercializadas.

De qualquer forma e apesar de todas as críticas que podem ser feitas, é inegável a relevância da produção de ciência e tecnologia nas universidades para o moderno processo inovativo (figura 1). Essa relevância é ainda maior para setores com muita oportunidade tecnológica que operam na fronteira do conhecimento – muito embora a base científica produzida nas universidades também seja, mesmo que de maneira indireta, fonte de importantes inovações incrementais. Mas é na relação direta com a tecnologia produzida pelas firmas que a relevância da atividade acadêmica de pesquisa fica mais evidente.

Nesse contexto, também é importante destacar o fato de que o Vale do Silício, tão emulado mundo afora, teve sua gênese muito ligada aos esforços de pesquisa aplicada das universidades locais, como Stanford, UC Berkeley, Caltech e outras, muitos dos quais iniciados ainda em meados da década de 1950.

FIGURA 1
Cinquenta anos de inovação pioneira – dados agregados do escritório de transferência de tecnologia da Universidade de Stanford (1970-2020)

Fonte: OTL Stanford (2021).
Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

De maneira geral, quanto mais uma atividade inovativa depende de conhecimentos de fronteira, mais a pesquisa universitária (e, portanto, as dinâmicas inerentes ao modelo da tripla hélice) será relevante. Evidentemente, inúmeros outros fatores podem suavizar e até invalidar tal afirmação, mas esse parece ser o caso no desenvolvimento de programas de computador, principalmente em países de primeiro mundo.

Nesse sentido, o desenvolvimento da indústria de *software* mundial não pode ser dissociado do esforço de pesquisa universitário. Inúmeras inovações hoje tidas como essenciais, como a internet, os mecanismos de busca e as interfaces gráficas, tiveram alguma origem na pesquisa acadêmica (Mowery e Rosenberg, 1999).[6] De fato, o próprio surgimento de boa parte dessas empresas se deve à tecnologia proveniente da universidade (box 1).[7]

BOX 1

A relevância da Universidade de Stanford para a criação do famoso mecanismo de busca e para a própria empresa que domina o setor

O mecanismo original de busca da empresa Google tem origem num esforço de pesquisa dos pesquisadores Larry Page e Sergy Brin, enquanto os dois estavam na Universidade de Stanford. Além da estrutura de pesquisa, a universidade ainda forneceu seu *know-how* em comercialização e rede de apoio.

Inicialmente, os pesquisadores objetivavam desenvolver uma maneira de ranquear páginas da *web* a partir de alguma medida de relevância. Como resultado, foi desenvolvido um novo algoritmo que dava um valor a uma determinada *webpage* considerando o número e a qualidade dos links (para essa primeira página) existentes em outras páginas. O emprego desse algoritmo em *software* criou uma maneira eficiente e precisa para dar tratamento à vasta disponibilidade de dados na rede, justamente em um momento em que ela crescia exponencialmente.

A realização desse esforço de pesquisa na Universidade de Stanford foi fundamental para o sucesso comercial da inovação resultante. Isso porque a referida instituição acadêmica possui longa tradição no fomento à comercialização da pesquisa científica que realiza. De fato, seu escritório de licenciamento de tecnologia (Office of Technology Licensing – OTL) é internacionalmente conhecido pelo profissionalismo e sucesso de suas iniciativas (Leslie & Kargon, 1996). De fato, foi a partir do OTL que a U.S. Patent nº 6.285.999, referente ao algoritmo de busca, foi pedida no escritório norte-americano de PI.

A relevância da universidade não se restringiu a apoio administrativo e científico, por meio do OTL. Os pesquisadores tiveram acesso a uma vasta rede de financiamento e conexões técnico-científicas que auxiliaram no sucesso do mecanismo de busca e garantiram seu crescimento comercial inicial.

Hoje, o algoritmo que sustenta o atual mecanismo de busca é bem mais sofisticado e poderoso, contudo, desenvolvimentos posteriores só foram possíveis depois do estímulo inicial dado, principalmente, pela universidade e sua estratégia de comercialização da pesquisa.

(12) **United States Patent**
Page

(10) **Patent No.: US 6,285,999 B1**
(45) **Date of Patent: Sep. 4, 2001**

Fonte: Brin e Page (1998); Leslie e Kargon (1996); Page *et al*. (1998).

6. A relevância da universidade para o moderno setor de *software* permanece nas duas primeiras décadas do século XXI. A Google enquanto empresa só surge em função do apoio de Stanford, e é essa empresa que dá os saltos mais significativos em modelos de linguagem de processamento natural.

7. Todos esses desenvolvimentos tecnológicos também contaram com substancial apoio público (Mazzucato, 2021).

2.1 Programas de computador: cumulatividade e oportunidade tecnológica num mundo em nuvem

O desenvolvimento de *softwares*, apesar de relativamente recente enquanto atividade econômica, já passou por diversos paradigmas tecnológicos. De modo geral, podem ser identificados sete diferentes paradigmas: i) *mainframe computing*, com *softwares* desenvolvidos de forma embarcada para atuar em grandes máquinas centralizadas que tratam dados comerciais; ii) *personal computing*, a partir do desenvolvimento do computador pessoal, os *softwares* passaram a ter aplicação individual e segmentada, voltados para a produtividade da atividade do usuário; iii) cliente-servidor, com as primeiras explorações comerciais em larga escala de computadores ligados em rede e com duas interfaces, uma de usuário e outra de *back-end*; iv) aplicações de internet, com *softwares* (e linguagens) voltados, sobretudo, para possibilitar o uso produtivo da nascente rede mundial de computadores; v) computação móvel, fruto da miniaturização e do barateamento dos componentes eletrônicos, que, por sua vez, permitiram a difusão de *smartphones* e demais aparelhos móveis e passaram a demandar aplicações especificamente desenhadas para esses *devices*; vi) computação em nuvem, com *softwares* voltados ao acesso remoto de dados e informações, inclusive por equipamentos grandes e físicos, mas também por dispositivos móveis; e vii) inteligência artificial (IA), com *softwares* que aprendem com os dados e melhoram sua performance ao longo do tempo (Campbell-Kelly e Aspray, 2004; Ceruzzi, 2012).

Essa velocidade de mudança na trajetória tecnológica da atividade é típica de setores com alta cumulatividade do conhecimento e grande oportunidade tecnológica. Isto é, as inovações se apoiam em prévios desenvolvimentos tecnológicos e criam um círculo virtuoso, no qual mais capacidade de processamento leva a mais capacidade de processamento. Enquanto outras atividades humanas dependem mais de um empirismo talentoso, o desenvolvimento de *softwares* requer estoque prévio de conhecimento.

Em contrapartida, a natureza dessa atividade, ligada ao rápido barateamento e à miniaturização de componentes destinados ao processamento de informações (que precisam de *softwares* para funcionar), permitiu criar inúmeras oportunidades para o surgimento de inovações. O elevado nível de oportunidade tecnológica da atividade e sua pervasividade setorial permitem tratá-la como uma tecnologia de propósito geral (*general propose technology*).

Adicionalmente, o atual paradigma tecnológico da atividade depende muito do acesso a dados em grande volume, em tempo real e em grande qualidade. Isso porque a IA, principal tecnologia da indústria no momento, é tão boa quanto os dados para os quais ela é treinada. Essa nova demanda passa, pouco a pouco, a criar novas barreiras à entrada, que, se num primeiro momento não são tão fortes, em fases posteriores de expansão dos negócios, tornam-se fundamentais para a

difusão da inovação. Ou seja, a moderna indústria de *software* também se beneficia de economias de rede.

Essas e outras características da trajetória tecnológica da indústria de *software* fizeram com que o conhecimento científico de ponta produzido nas universidades se tornasse essencial para a exploração econômica da atividade e uma importante fonte de informação para o surgimento de inovações.

De fato, esses sete diferentes paradigmas se apoiaram, diretamente, na pesquisa científica liderada por universidades com amplo apoio público, inclusive com fins de defesa nacional. Mas as universidades não são importantes apenas para a geração de conhecimento na forma de novas linguagens de programação e/ou novos algoritmos; elas desempenham outros papéis de relevância na indústria de *software*. Por exemplo, boa parte das inovações dessa atividade depende de mão de obra extremamente qualificada e atualizada, que é formada e reciclada pelas universidades. Essas instituições também apoiam projetos de pesquisa em parceria desenvolvidos explicitamente para aplicar conhecimento científico de fronteira em demandas concretas de empresas. Além disso, as universidades têm o potencial de criar redes de apoio que vão do suporte financeiro ao físico.

Ou seja, a transformação do conhecimento científico produzido no ambiente universitário é uma das formas de cooperação da universidade com a indústria de *software*. Ela é a mais direta e óbvia, principalmente se forem consideradas as inúmeras mudanças de paradigma tecnológico, mas está longe de ser a única.

Adicionalmente, é importante ressaltar que a criação e a manutenção de uma indústria de *software* de classe mundial dependem de inúmeros outros fatores que transcendem os objetos deste trabalho. Um robusto sistema universitário que produz constantemente mão de obra e pesquisa de ponta é uma condição, mas não é suficiente. Para tanto, inúmeros outros vetores precisam estar presentes, e a história recente dos Estados Unidos mostra que um dos vetores mais relevantes para garantir contínuas inovações radicais é o apoio público, tanto como garantidor de demandas de alta complexidade quanto como financiador das estratégias privadas.

O fato essencial aqui é que não é possível haver uma indústria de *software* de liderança mundial sem um sistema universitário que forme mão de obra qualificada e atualizada, que compartilhe instalações e ativos e que, principalmente, produza diuturnamente conhecimento de fronteira nas áreas da ciência da informação e correlatas. Mesmo que a presença de um robusto sistema de pesquisa universitária seja também relevante para um amplo conjunto de indústrias, notadamente para aquelas atividades de maior complexidade tecnológica, é no desenvolvimento de *softwares* que essa dependência se mostra mais evidente, pelo menos no primeiro mundo.

2.2 Dos desafios na comercialização da pesquisa universitária em programas de computador

Mesmo que a indústria de *software* tenha particularidades muito evidentes, como demonstrado anteriormente, é difícil estabelecer na literatura desafios específicos a ela no que diz respeito à relação com a pesquisa acadêmica. A literatura especializada entende que os problemas não são exclusivos de uma determinada atividade econômica e, por isso, se concentram em grandes desafios que podem ser mais ou menos afetados pela trajetória tecnológica das diferentes atividades econômicas.

Entre esses desafios, destacam-se aqui dois, considerados mais relevantes: i) o vale da morte; e ii) a necessidade de tradução.

A ausência de mecanismos de apoio financeiro às fases mais "cinzentas" do desenvolvimento tecnológico, isto é, quando a pesquisa científica dá lugar ao desenvolvimento de um bem ou serviço propriamente dito, sofre com subinvestimento. Isso porque os instrumentos são desenhados para atender ou a lógica acadêmica ou a lógica empresarial. Legal e institucionalmente, é muito difícil adequar essas duas lógicas no sentido de estabelecer objetivos, métricas, metodologias e gestão de risco comuns. A literatura tem chamado essa fase de *vale da morte*, em que a pesquisa acadêmica comercialmente promissora é abandonada pela ausência de financiamento adequado (Auerswald, 2007).

A existência de diferentes lógicas de funcionamento também cria dificuldade de tradução de interesses comuns. As lógicas de mercado e de busca de conhecimento podem, por vezes, se chocar. Traduzir os interesses e criar relacionamentos virtuosos são grandes desafios da relação universidade-empresa. De fato, a dificuldade de tradução é a principal razão de ser dos escritórios de apoio à comercialização da pesquisa universitária. Essa dificuldade se expressa de diferentes maneiras, como na precificação dos serviços de pesquisa, na definição da titularidade dos direitos de PI e na participação financeira do pesquisador (Rauen, 2016).

Essas diferenças também se expressam nas regras de incentivo e punição dos agentes que compõem os dois lados dessa relação. Os papéis esperados de pesquisadores e empregados privados se confundem, e por vezes os incentivos apontam para sentidos opostos, misturando e amalgamando situações contraditórias. Quando as universidades são eminentemente públicas, como no caso brasileiro, essa situação se torna ainda mais complexa e incerta.[8]

8. Por exemplo, no Brasil, o professor universitário servidor público pode ter o regime de dedicação exclusiva e ainda assim cooperar como uma empresa para a exploração comercial de sua pesquisa. Mas isso exigirá navegar por complexo cipoal legal.

2.3 Estratégias brasileiras de fomento à comercialização da pesquisa em universidades federais

Em que pese a comercialização da pesquisa universitária ter sido relevante para estratégias de desenvolvimento passadas, como nas áreas aeroespacial e agrícola (Albuquerque *et al*. 2011; Suzigan e Albuquerque, 2008), uma nova fase desse relacionamento se inicia apenas em 2004, quando a Lei de Inovação (Lei nº 10.973/2004) é promulgada.

Depois de um processo de aprendizado no qual se observou um baixo uso relativo da referida legislação, bem como poucos resultados concretos em termos de inovações lançadas, ocorre uma revisão e um aprofundamento dos princípios da referida lei, culminando num novo Marco Legal de Ciência, Tecnologia e Inovação, formado pela redação original da Lei nº 10.973/2004, por sua atualização dada pela Lei nº 13.243/2016 e pela regulamentação dessa nova redação dada pelo Decreto nº 9.283/2018. A essas novas possibilidades legais se soma a recente introdução do Marco Legal das Startups (Lei Complementar nº 182/2021), que também passam a compor o arcabouço jurídico de fomento à CT&I no Brasil.

O conjunto dessas possibilidades legais cria novas permissões e limitações aos diferentes agentes que atuam no sistema de inovação brasileiro e impactam diretamente o potencial de comercialização das pesquisas conduzidas no conjunto das universidades, em especial das Ifes.

Considerando os objetivos deste capítulo, destacam-se as seguintes possibilidades para as Ifes enquanto instituições científicas e tecnológicas (ICTs): i) compartilhar infraestrutura científica e ser remunerada para isso, criando, inclusive, alianças estratégicas baseadas em polos, parques, incubadoras e aceleradoras de empresas;[9] ii) comercializar a PI resultante do esforço de pesquisa e ser por isso remunerada ou negociá-la com interessados privados;[10] iii) fornecer ao governo bens e serviços resultantes de pesquisa com dispensa do processo licitatório;[11] iv) remunerar o ocupante do cargo de docente, mesmo em dedicação exclusiva, quando em cooperação com empresas na aplicação comercial da pesquisa científica

9. "Art. 9º É facultado à ICT celebrar acordos de parceria com instituições públicas e privadas para realização de atividades conjuntas de pesquisa científica e tecnológica e de desenvolvimento de tecnologia, produto, serviço ou processo" (Brasil, 2004).

10. "Art. 6º É facultado à ICT pública celebrar contrato de transferência de tecnologia e de licenciamento para outorga de direito de uso ou de exploração de criação por ela desenvolvida isoladamente ou por meio de parceria" (Brasil, 2004).

11. "Art. 75 É dispensável a licitação [...] XV para a contratação de instituição brasileira que tenha por finalidade estatutária apoiar, captar e executar atividades de ensino, pesquisa, extensão, desenvolvimento institucional, científico e tecnológico e estímulo à inovação, inclusive para gerir administrativa e financeiramente essas atividades, ou para contratação de instituição dedicada à recuperação social da pessoa presa, desde que o contratado tenha inquestionável reputação ética e profissional e não tenha fins lucrativos" (Brasil, 2021).

e permissão para que este tenha parte da PI;[12] v) dar natureza jurídica própria ao Núcleo de Inovação Tecnológica.[13]

Além dessas novidades legais, os órgãos federais de fomento à CT&I passaram a incentivar, formalmente, a comercialização dos resultados da pesquisa nas Ifes. Do ponto de vista das avaliações dos cursos de pós-graduação, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), por meio de grupo de trabalho (GT), definiu a metodologia dos produtos técnicos e tecnológicos resultantes da pesquisa dos diferentes cursos de pós-graduação existentes no país.

Em documento orientador, esse GT inseriu o desenvolvimento de programas de computador como um produto técnico ou tecnológico passível de compor o estoque de resultados de um programa de pós-graduação a ser examinado pela Capes. Isto é, a avaliação dos cursos considera a criação de programas de computador como um indicador de produção independentemente de ele ter sido registrado no Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (Inpi) ou não.

Em contrapartida, o documento orientador da avaliação na área de ciências da computação incentiva que programas de pós-graduação na modalidade profissional tenham corpo docente com registro de programas de computador solicitados junto ao Inpi:

> 3.4. Qualificação mínima de docentes permanentes.
>
> (...)
>
> Para cursos na modalidade profissional:
>
> (...)
>
> - espera-se que o corpo docente possua comprovada capacidade de produção tecnológica – como registros de *software* (*sic*), patentes, produção de *software* e outros artefatos tecnológicos relevantes e inovadores –, distribuída de maneira equilibrada pelo corpo docente (Brasil, 2023, p. 10).

Já o documento orientador da área de astrofísica/física é ainda mais contundente quando afirma que:

12. "Art. 14-A O pesquisador público em regime de dedicação exclusiva, inclusive aquele enquadrado em plano de carreiras e cargos de magistério, poderá exercer atividade remunerada de pesquisa, desenvolvimento e inovação em ICT ou em empresa e participar da execução de projeto aprovado ou custeado com recursos previstos nesta lei, desde que observada a conveniência do órgão de origem e assegurada a continuidade de suas atividades de ensino ou pesquisa nesse órgão, a depender de sua respectiva natureza" (Brasil, 2004).

13. "Art. 16 Para apoiar a gestão de sua política de inovação, a ICT pública deverá dispor de Núcleo de Inovação Tecnológica, próprio ou em associação com outras ICTs: (...) § 3º O Núcleo de Inovação Tecnológica poderá ser constituído com personalidade jurídica própria, como entidade privada sem fins lucrativos" (Brasil, 2004).

> além da produção de trabalhos publicados em periódicos e sua classificação no Qualis vigente, será considerada também a produção de patentes, sendo mais importantes aquelas concedidas e principalmente as licenciadas, registro de *software* (*sic*) e protótipos. Do mesmo modo, essas produções devem ter aderência aos objetivos do curso, suas áreas de atuação e linhas de pesquisa propostas (Brasil, 2022a, p. 10).

Mesmo a área de farmácia, em suas *Considerações sobre Classificação de Produção Técnica e Tecnológica (PTT)*, por exemplo, exige que programas de computadores tenham registro no Inpi ou assemelhado a fim de serem considerados no processo de avaliação.[14]

Já o documento orientador para avaliação de cursos de pós-graduação na área de ciências agrárias I[15] define que a produção intelectual na forma de programa de computador precisa ser apresentada na modalidade de registro de programas de computador.

Então, a orientação geral que pode ser extraída de diversos documentos de diferentes áreas de avaliação da Capes é de que seu registro é estimulado e, em alguns casos, inclusive, há condicionamento de sua contabilização como produtos de pesquisa a esse registro oficial.

O incentivo ao registro de programas de computador nas Ifes brasileiras também pode ser observado a partir da perspectiva do pesquisador que nelas atua. Por exemplo, nos últimos anos, a Plataforma Lattes, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), inseriu um guia específico para cadastrar o registro de programas de computador solicitado ao Inpi ou a qualquer outro órgão de PI no mundo. O cruzamento dessas informações dá origem ao conjunto de programas de computador registrado pelo programa de pós-graduação e influencia sua nota.

Observa-se, portanto, um forte estímulo ao registro de todo e qualquer programa de computador desenvolvido por uma Ifes que tenha algum apelo comercial.

Isso porque, segundo a resolução Inpi/PR nº 158/2016:

> criações envolvendo programa de computador possuem duas formas de proteção: o direito autoral para o programa de computador e o direito patentário para processos que solucionem problemas técnicos, alcançando efeito técnico, não relacionado a mudanças no código (Brasil, 2016).

Assim, os programas de computador, apesar de, em parte, terem seus direitos patrimoniais assegurados pelos direitos autorais, são fortemente incentivados a ter seu registro realizado quando se enquadrarem no perfil de patente de invenção

14. Disponível em: https://www.gov.br/capes/pt-br/centrais-de-conteudo/19_FARM_class_prod_tecn_jan2017.pdf.
15. Agronomia, engenharia florestal e agrícola.

(implementada por registros de programas de computador), atendendo aos três requisitos impostos pela legislação (novidade, atividade inventiva e aplicação industrial), de modo a assegurar maior proteção jurídica.

3 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

Seguindo os moldes propostos por Yin (2009), este é um estudo exploratório. Por isso, não se pretende testar uma hipótese, mas dar elementos empíricos e concretos que podem apontar em um ou outro sentido. Isto é, considerando as características da trajetória tecnológica da atividade econômica de desenvolvimento de *software* ou programas de computador (alta cumulatividade e grande oportunidade tecnológica) e a existência de uma ampla rede de instituições acadêmicas no Brasil, a grande maioria pública, seria lógico supor que haveria grande relação entre universidade e desenvolvedores de *software* no país. Isso porque as universidades, após mudanças legais robustas, bem como fortes incentivos da Capes e do CNPq, passaram a estimular tal relação e porque desenvolvedores de *softwares* dependem de conhecimento científico gerado na universidade.

Contudo, a julgar pelos números apresentados pela última Pesquisa de Inovação (Pintec), elaborada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), mesmo que a afirmação feita seja lógica e necessária, não corresponde ao que mostram as evidências mais gerais. Isto é, as parcas evidências concretas sobre o tema apontam para uma relação pouco desenvolvida entre universidade e desenvolvedores, em claro contraste com a realidade de países desenvolvidos, notadamente, a norte-americana.

Por exemplo, no período 2015-2017, a taxa de cooperação geral das atividades dos serviços de tecnologia da informação era de 17,9%, abaixo, por exemplo, da taxa de cooperação de 70,2% do setor de fabricação de produtos químicos inorgânicos, mas acima da taxa geral da manufatura, que era de 14,9%.

Contudo, foi surpreendente a baixa relevância conferida por empresas das atividades dos serviços de tecnologia da informação às universidades como fontes de informação para a inovação. Como mostra a tabela 1, 83,1% das empresas inovadoras desse conjunto afirmaram que essas instituições tinham baixa ou nenhuma relevância como fonte de informação para inovação.

TABELA 1
Empresas que implementaram inovações e que consideraram as fontes de informação para inovação "baixa ou não relevante", segundo as atividades do setor de serviços selecionados no Brasil (2015-2017)
(Em %)

Atividades da indústria, do setor de eletricidade e gás e dos serviços selecionados	Departamento de pesquisa e desenvolvimento (P&D)	Universidades ou outros centros
Serviços	14,6	81,6
Atividades dos serviços de tecnologia da informação	16,7	83,1
Desenvolvimento de *software* sob encomenda	10,0	79,5
Desenvolvimento de *software* customizável	28,7	78,3
Desenvolvimento de *software* não customizável	26,6	86,3
Outros serviços de tecnologia da informação	8,0	87,8

Fonte: IBGE (2020).

Esses poucos dados empíricos mostram primeiro que as empresas da indústria de *software* brasileira pouco cooperam, e a grande maioria julga as universidades – conjunto maior que inclui as Ifes, mas também a Universidade de São Paulo (USP) e a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), por exemplo – pouco atraentes como fonte de informação para inovação. Em termos de inovação, essas empresas centravam suas estratégias em fontes próprias, notadamente na P&D interna.

Ou seja, esse é o contexto maior no qual se insere esta pesquisa. Dentro dele, inúmeras outras questões podem ser colocadas. Uma das mais relevantes é, portanto, qual é o interesse comercial da pesquisa produzida por um subconjunto dessas mesmas universidades, haja vista que, ao solicitar registro junto a órgão competente, essas Ifes julgam que sua pesquisa, mesmo nesse cenário, tem potencial comercial.

O que se pretende, então, é compreender de forma mais detalhada e circunscrita uma das muitas possibilidades inerentes à relação universidade-empresa no Brasil. Assim, quer se qualificar um já estabelecido consenso de baixa relação universidade-empresa e consequente limitada aplicação comercial de resultados da pesquisa.

Para tanto, as contribuições neoschumpeterianas que tratam das trajetórias tecnológicas foram observadas à luz de uma base de dados inédita extraída de uma *survey* realizada pela Controladoria-Geral da União (CGU) ao longo de 2022.

No segundo semestre de 2021, a CGU enviou às 69 Ifes existentes no país questionários eletrônicos e *templates* de planilhas eletrônicas para a coleta de dados e indicadores de esforço e resultado da gestão da inovação nessas instituições (no total, foram mais de 230 perguntas). Esses instrumentos de coleta fazem parte da ação de auditoria sob a temática da economia da inovação nas universidades públicas federais (Avaliação CGU nº 817.023), cujo objetivo foi avaliar os arranjos,

as estratégias, os incentivos e as políticas de inovação da rede federal de ensino superior a fim de fomentar discussões de políticas e de boas práticas no desenvolvimento da inovação na economia brasileira. Entre as dimensões avaliadas, foi solicitado o histórico de PI e transferência de tecnologia (TT) dessas instituições, com abrangência temporal de 1968 ao segundo semestre de 2021.

Os questionários foram enviados no conjunto de um esforço de auditoria formal, e os indicadores resultantes foram revisados pelas próprias Ifes respondentes.

Especificamente para registros de programas de computador, a qualidade da base de dados é muito boa, mas algumas perguntas tiveram de ser excluídas em razão de respostas incorretas por parte dos respondentes. De fato, dados relacionados à PI e à TT estão entre os de melhor qualidade (quadro 1). Para outros tipos de PI, como patentes, *know-how* etc., que também se encontram na base da CGU, ainda é preciso avaliar com detalhes os casos concretos.

QUADRO 1
Variáveis utilizadas nas análises a partir de avaliação da qualidade das respostas

Variável	Descrição
Número do processo de registro da PI	Identificação do número de registro da PI.
Ifes titular	Identificação da universidade que participou da elaboração da PI.
Âmbito da PI	Nacional e/ou internacional.
Tipo da PI	Programas de computador.
Área de conhecimento de origem	Oito grandes áreas de conhecimento, segundo classificação dada pelo CNPq – ciências agrárias; ciências biológicas; ciências da saúde; ciências exatas e da terra; engenharias; ciências humanas; ciências sociais aplicadas; linguística, letras e artes.
Data de requerimento da PI	Data em que o registro da PI foi requerido.
Status do requerimento	Em análise; concedido; indeferido; arquivado; ou extinto.
Data de concessão	Data em que o órgão responsável concedeu a PI.
Faixa de tempo entre requerimento e concessão (em anos)	Até dois anos; de dois a quatro anos; de quatro a seis anos; acima de seis anos; ou não concedido.
Campo de aplicação (código)	Campo de aplicação, conforme classificação feita pelo Inpi.[1]
Campo de aplicação (descrição)	
Tipo de programa (código)	Tipo de programa utilizado para o registro de programa de computador, conforme classificação feita pelo Inpi.[2]
Tipo de programa (descrição)	
Linguagem	Linguagem de programação utilizada no desenvolvimento.
Título da PI	Título da PI dado pelos autores.
Houve TT?	Sim ou não, segundo a existência ou não de TT gerada pela PI.
Tipo da TT (primeiro contrato)	Cessão; licenciamento; fornecimento de tecnologia; assistência técnica; ou franquia.
Quantidade de contratos de TT	Campo numérico.
Tem cotitularidade?	Sim ou não, segundo a existência ou não de parceiro no desenvolvimento da PI.
Quantidade de titulares	Campo numérico.

(Continua)

(Continuação)

Variável	Descrição
Tipo de cotitular (se houver)	Agência de fomento
	Empresa privada
	Empresa pública ou sociedade de economia mista
	Empresa ou parceiro estrangeiro
	Entidade privada
	Órgão público
	Pessoa física
	Sistema S
	Unidades e centros de pesquisa
	Universidade

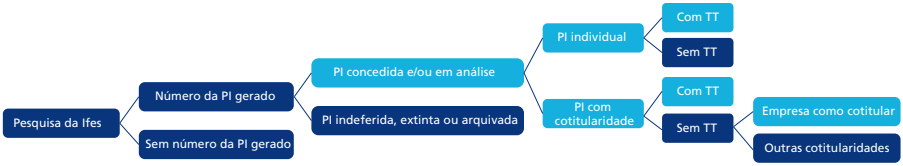
Fonte: Brasil (2022b).
Elaboração dos autores.
Notas: [1] Disponível em: https://www.gov.br/inpi/pt-br/assuntos/programas-de-computador/campo_de_aplicacao.pdf/view.
[2] Disponível em: https://www.gov.br/inpi/pt-br/assuntos/programas-de-computador/tipos_de_programa.pdf.

Nesse sentido, optou-se por empregar as análises a partir do pedido de PI por meio de registro de programas de computador ou seu equivalente em escritório nacional ou internacional de PI. Ou seja, esse indicador representa o produto do esforço de pesquisa da Ifes, e a partir dele se constroem as análises.

A ideia básica aqui é que, ao solicitar um pedido de registro de programas de computador em algum escritório de PI, a Ifes acredita no potencial mercadológico de sua descoberta. Isso porque a solicitação de tal registro possui custos materiais e imateriais, assim como pode criar um monopólio temporário naquela tecnologia desenvolvida por instituição pública, bloqueando seu uso para a sociedade. Assim, ela só o faria mediante algum benefício real ou potencial.

A solicitação de registro de um programa de computador (nesse caso, uma PI) não é um processo automático nem neutro. Tal solicitação possui implicações socioeconômicas que variam em função do caso concreto. Assim, trata-se de uma decisão consciente dentro de uma política de inovação, mesmo que esta não exista formalmente. É nessa entidade, a PI, que se baseia este esforço de pesquisa.

FIGURA 2
Representação gráfica da estratégia metodológica



Elaboração dos autores.

Como pode ser observado na figura 2, os dados foram analisados a partir da ótica dos números de PI gerados pela Ifes e posteriormente examinados por um órgão avaliador da PI. Esse número pode se referir a um pedido em análise ou concedido pelo Inpi ou outro escritório nacional (PIs indeferidas, arquivadas ou extintas foram excluídas).[16] Todas as informações foram fornecidas pelas Ifes no âmbito de atividade de auditoria.

Uma pesquisa conduzida pela Ifes pode, então, gerar uma PI ou não, a depender do julgamento sobre seu potencial de comercialização, do grau de ineditismo do resultado, do interesse do pesquisador e da instituição, de mecanismos de incentivo e demais elementos socioeconômicos.

As PIs podem ser: i) patentes de invenção; ii) desenho industrial; iii) *know-how*; iv) marca; v) modelo de utilidade; vi) proteção e cultivares; vii) topografia de circuitos integrados; viii) indicação geográfica; e ix) programas de computador. Aqui, o interesse é apenas na última forma.

Os programas de computador podem ser registrados no Inpi para adicionar garantias quanto a sua propriedade. Isto é, programas de computador já estão protegidos pelos direitos autorais, pois também se enquadram nessa categoria. Contudo, como será visto na seção de discussão, existe um claro incentivo, por parte de órgãos públicos de fomento à CT&I no Brasil (como Capes e CNPq), para que os programas de computador sejam registrados formalmente no Inpi, a fim de comprovar existência.

Dado o elevado tempo médio de avaliação pelo Inpi à época do levantamento da CGU nas Ifes,[17] é importante considerar todas as PIs, e não apenas aquelas com aprovação, porque:

> 1) As tecnologias podem ser comercializadas independentemente do julgamento pelo INPI, em especial em setores de alta oportunidade tecnológica, como o de desenvolvimento de *softwares*. Além disso, produtos da pesquisa em *software* não possuem obrigatoriedade de registro, uma vez que são cobertos por direitos de autor.
>
> 2) O elevado tempo médio de análise pelo órgão responsável excluiria importantes pedidos de patentes já comercializados. Esse segundo ponto é mais relevante para outros tipos de PIs do que para o registro de programas de computador, cujo tempo médio de aprovação era de até dois anos, de acordo com as próprias Ifes. Mas, no sentido de garantir a possibilidade de comparação entre diferentes tipos de proteção, optou-se por contar os pedidos de registro, e não só aqueles aprovados.

16. A essas PIs foi necessário adicionar vinte produzidas pela Universidade Federal de Goiás (UFG), que, apesar de não terem sido registradas no Inpi, foram comercializadas com terceiros a partir de contratos de TT. Esses foram os únicos casos deste tipo.

17. Disponível em: https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes/plano-de-combate-ao-backlog.

Esse número de PI pode ter sido gerado de forma individual (a Ifes atuou sozinha na pesquisa) ou em cotitularidade com uma empresa (além da Ifes, a pesquisa originária foi realizada com, pelo menos, uma companhia).

De acordo com as definições e objetivos deste trabalho e no sentido de permitir ampla comparação intersetorial, o grupo de interesse é formado pelo conjunto de: i) PIs com único titular e algum contrato de TT; ii) PIs com cotitularidade e algum contrato de TT; e iii) PIs com cotitularidade sem contratos de TT, mas com alguma empresa como cotitular. Isso significa que a definição de "interesse comercial" considera apenas os casos em que houve um contrato de TT e nos quais a cotitularidade foi realizada com uma empresa. A trilha que permite formar esse grupo é apresentada em azul-claro na figura 2.

Foi necessário adicionar as PIs com cotitularidade com empresas, pois parte-se do pressuposto de que um esforço de pesquisa em cooperação com essas entidades já constitui uma situação de interesse comercial ou sua tentativa, mesmo que não haja contrato de TT posterior.

Uma vez que apenas com o advento da Lei de Inovação é que houve estímulo formal e específico à comercialização da pesquisa acadêmica no Brasil e que essa lei é de 2004, com a primeira regulamentação apenas em 2005, então, optou-se por restringir a análise ao período 2005-2021.[18]

4 INTERESSE COMERCIAL DA PI DE PROGRAMAS DE COMPUTADOR NAS IFES BRASILEIRAS: RESULTADOS PARA O PERÍODO 2005-2021

Considerando o período de análise e as PIs solicitadas na forma de registro de programas de computador, tem-se 3.432 PIs (82% sem cotitularidade). Destas, 98,5% já tinham sido concedidas e 0,26% estavam em análise. O restante tinha sido arquivado ou indeferido. Das aprovadas, 91% o foram num período de até dois anos, o que contrasta com a realidade enfrentada por outras formas de proteção, como patentes, que possuíam, à época, grande *backlog* no órgão responsável.[19]

Tal como definido na seção metodológica, aqui se consideram apenas PIs concedidas ou em análise, portanto, temos um universo total de 3.391.

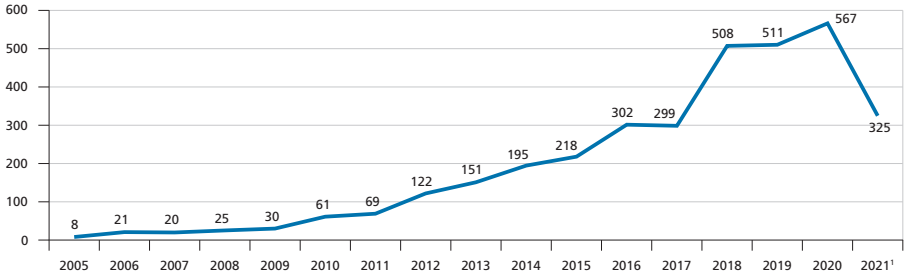
Devido a limitações metodológicas, não é possível saber exatamente qual foi a arrecadação realizada para essas PIs específicas e em todo o período. Parte das Ifes não possui informações individualizadas sobre a arrecadação obtida em cada PI negociada. Contudo, de acordo com dados obtidos pela CGU, de modo agregado e considerando apenas as rentabilizações obtidas durante o período de 2015

18. Considera-se a data do requerimento de pedido de PI junto ao Inpi.

19. Análises preliminares das outras formas de proteção mostram uma realidade bem diferente. Ou seja, de períodos muito mais longos de análise, notadamente, nos casos de patentes de invenção.

a 2020, das 69 Ifes, dez universidades receberam alguma retribuição pecuniária, correspondendo a aproximadamente R$ 51.615.061,95 (preços de 2020) com licenciamento ou cessão de PI do tipo programas de computador.

GRÁFICO 2
Evolução dos pedidos de PI em programas de computador



Fonte: Brasil (2022b).
Elaboração dos autores.
Nota: [1] Até o segundo semestre de 2021.

Como demonstra o gráfico 2, houve substancial aumento dos pedidos de registro de programas de computador nos períodos posteriores à introdução da Lei nº 10.974/2004 (Lei de Inovação). O auge da série é 2020, pois 2021 está incompleto, uma vez que a pesquisa da CGU foi realizada com dados enviados até o segundo semestre desse ano.

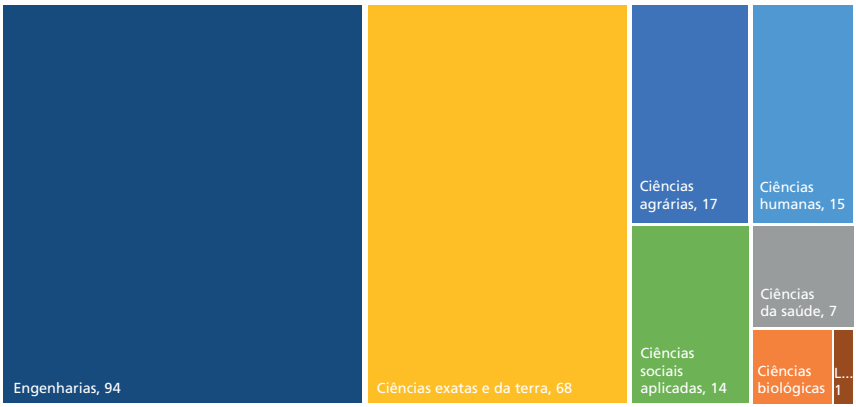
Considerando os três subgrupos definidos para formar o universo de interesse, tem-se: i) 31 PIs individuais com pelo menos um contrato de TT; ii) 34 PIs em cotitularidade com pelo menos um contrato de TT; e iii) 155 PIs em cotitularidade sem contrato de TT, mas com cotitularidade com empresas privadas ou de economia mista. O universo total de PIs solicitadas com interesse comercial é de 220, o que significa uma taxa de interesse comercial de apenas 6,5% para o período 2005-2021. As análises aqui realizadas também demonstraram que, após dois anos de depósito, as chances de ocorrer um contrato de TT caem substancialmente.

Uma primeira análise, superficial, de todos os tipos de PIs coletados na *survey*, que empregou a mesma metodologia, permite encontrar uma taxa geral próxima desta relativa apenas aos programas de computador.[20] E mesmo essa parece ser baixa se considerado o fato de que solicitar a PI junto a órgãos competentes sinaliza que existe alguma percepção de possível interesse comercial (pois a grande maioria não desperta o interesse de empresas).

20. Substanciais desafios metodológicos se colocam quando o objetivo é o cálculo de uma taxa geral para todos os tipos de PIs. Esses desafios devem ser tratados em outro esforço de trabalho. Portanto, julgamos não ser prudente apresentar dados preliminares neste texto, referentes a tal taxa geral.

Isto é, considerando todos os pedidos de PI feitos entre 2005 e 2021, seguramente mais de dois terços não tiveram interesse comercial ao longo do mesmo período. É verdade, contudo, que pedidos feitos mais recentemente, talvez em 2021, podem ainda ser aplicados comercialmente em momentos futuros. Mas o recorte metodológico aqui aplicado permite observar uma baixa taxa de interesse, seja qual for o parâmetro de análise escolhido. Essa taxa pode ser considerada baixa em razão da própria natureza do pedido de PI, qual seja: proteger o inventor no uso comercial de sua invenção. No entanto, se o uso é quase uma exceção, então, a proteção talvez não fosse realmente necessária.

FIGURA 3
Distribuição percentual das PIs em programas de computador com interesse comercial por grande área do conhecimento de origem do projeto



Fonte: Brasil (2022b).
Elaboração dos autores.
Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Considerando as 220 PIs com interesse comercial identificadas: i) 17,7% tinham proteção internacional; ii) 42,7% eram originárias de projetos de pesquisa classificados como da área de engenharias (figura 3); iii) nenhuma estava em análise pelo Inpi; iv) 92,3% das PIs aprovadas o foram em até dois anos; v) 84,6% das que assinaram contratos de TT o fizeram por meio de licenciamento; vi) seis foi o número médio de contratos para aquelas que assinaram algum contrato de TT, embora existam PIs com até 52 contratos; vii) a linguagem mais empregada foi a Java, com 25%; e ix) a IA, tipo de programa mais debatido no mundo no momento em que se escreve este capítulo, representava 26,8% de todos os outros tipos desenvolvidos.

Na figura 3, fica evidente o grande peso das engenharias, seguidas pelas ciências exatas, compostas também pela área de ciências da computação. Esse parece ser um achado relevante, uma vez que seria lógico esperar dominância das ciências

exatas em registros de programas de computador. Mas talvez o recorte escolhido aqui – interesse comercial – tenha enviesado o resultado para esforços de P&D de áreas mais aplicadas, como as engenharias.

A relevância dos projetos de IA também pode ser observada pela nuvem de palavras feitas com base nos títulos das PIs conforme seu registro oficial (figura 4). Nela, além de outras, se destacam as palavras: *inteligente*, *inteligência* e *artificial*. Contudo, a frequência das palavras *análise* e *gestão* é dominante. De fato, a julgar pelos títulos dos projetos, áreas de desenvolvimento deles, tipos de *software*, linguagem empregada e frequência de palavras, infere-se predominância de programas de auxílio à gestão com e sem análises baseadas em IA. Esse mesmo estudo permitiu, também, observar a ocorrência de PIs ligadas à gestão dos sistemas de geração e distribuição de energia elétrica, potencialmente desenvolvidas por meio de recursos do P&D Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).[21]

FIGURA 4
Nuvem de palavras elaborada a partir dos títulos da PIs em programas de computador

Fonte: Brasil (2022b).
Elaboração dos autores.
Obs.: As palavras *software* e *sistema* foram excluídas, assim como palavras, artigos e expressões de ligação.

Considerando as 69 Ifes atualmente existentes e que responderam ao questionário enviado pela CGU,[22] aquela com maior número de contratos de TT (297) e cotitularidade com empresas (quatro) em PIs de registro de programas de computador é a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Esses números foram alcançados por dezesseis PIs em comparação com um total de 267 PIs

21. Um cruzamento entre os títulos dessas PIs e os títulos de projetos financiados com recursos do P&D Aneel poderia responder essa hipótese.

22. A Universidade Federal do Piauí (UFPI) foi a única Ifes que não disponibilizou informações sobre as propriedades tecnológicas geradas e respectivas transferências de tecnologia.

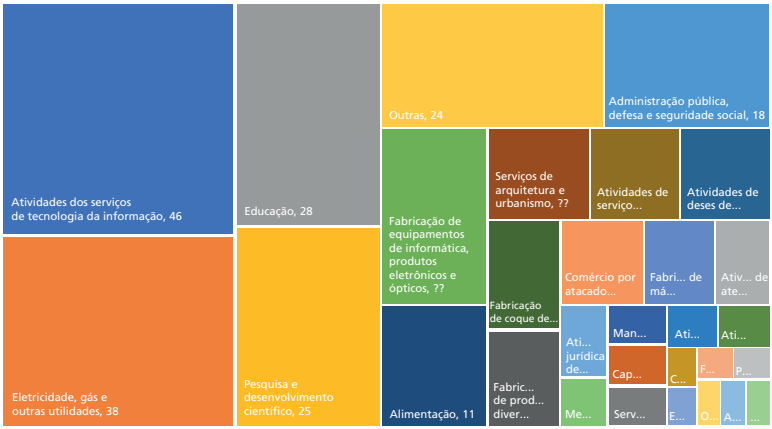
concedidas pelo órgão competente. Ou seja, mesmo em Ifes de destaque, a vasta maioria das PIs produzidas não é de interesse comercial, tal como aqui definido. Apenas uma dessas dezesseis PIs de interesse comercial era baseada em IA.

É dessa Ifes a PI com o maior número de contratos de TT. Trata-se de um *software* para uso em atividades de arquitetura chamado de Arquitetura 2013, cuja área de origem é a de ciências exatas e da terra. O programa é do tipo de biblioteca de rotinas e transferências de arquivo, foi licenciado e não cedido e, assim como a maioria das outras PIs de todo o universo de análise, baseado em Java.

Um outro recorte relevante e um tanto revelador das características das PIs com interesse comercial no universo de análise é aquele feito apenas nas PIs baseadas em tecnologias de IA. Das 59 PIs com interesse comercial que contêm essa tecnologia, aquela com maior número de contratos de TT não passava de três contratos e dizia respeito a um algoritmo para monitoramento de pacientes crônicos desenvolvido pela Universidade Federal de Goiás (UFG) e cedido para aplicação comercial.[23] De fato, nesse subconjunto de PIs que usam inclusive IA, a UFG se destaca com o maior número de contratos de TT (26).

Finalmente, os dados ainda permitem observar os setores – segundo a Classificação das Atividades Econômicas (CNAEs) – que mais demonstraram interesse comercial pelas PIs de registro de programas de computador.[24]

FIGURA 5
Frequência das CNAEs 2.0 (dois dígitos) das contrapartes nos contratos de TT e das empresas cotitulares



Fonte: Brasil (2022b).
Elaboração dos autores.
Obs.: Figura cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

23. Uma mesma PI pode envolver diferentes tipos de tecnologias de programação.
24. Uma mesma PI pode estar associada a mais de uma CNAE.

De forma um tanto lógica e racional, dentro do conjunto de PIs com interesse comercial, o setor de atividades de serviços de tecnologia da informação é aquele com maior interesse pela produção universitária em programas de computador. De todas as 220 PIs com interesse comercial, 46, ou 20,9%, despertaram o interesse desse setor. Ainda que o referido setor no país não apoie suas estratégias inovativas no conhecimento universitário (tabela 1), é o que mais interesse comercial teve nas PIs na forma de registro de programa de computador. Este seria, então, um usuário intermediário.

O setor de eletricidade, gás e outras utilidades, um usuário final de *softwares* desenvolvidos, inclusive por universidades, é o segundo em interesse comercial das PIs em registro de programas de computador. Mesmo não sendo possível testar tal hipótese neste trabalho, provavelmente este fato está ligado à existência do programa de P&D obrigatório da Aneel, que acaba por alimentar a rede universitária com recursos empregados na pesquisa acadêmica, inclusive em *software*.

Quanto ao consumo final, é interessante observar algum interesse comercial pelos setores de alimentação, administração pública e serviços de arquitetura. Esse fato pode significar que os Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs) estão conseguindo acessar o consumo final sem intermediários do setor de tecnologia da informação e comunicação (TI). Ou seja, que a P&D universitária nem sempre é primeiro incorporada a um produto e/ou serviço de uma empresa típica de TI para só depois chegar ao seu uso final.

De qualquer forma, a complexidade das diferentes atividades econômicas executadas no século XXI, mesmo em países periféricos como o Brasil, exige a presença de programas de computador incorporados nos mais variados bens e serviços comercializados, o que é, em parte, refletido na figura 5. De fato, a referida figura corrobora a afirmação de que os programas de computador passaram, já na virada do século, a se configurar como tecnologia de uso geral.

Considerando apenas projetos com interesse comercial e baseados em IA, a dispersão CNAE é muita parecida, com a mesma predominância das atividades de serviços de tecnologia da informação.

5 DISCUSSÃO

Ao todo, foram encontrados 220 registros de programas de computador com interesse comercial num universo total de 3.432 PIs solicitadas. Com esses números, é difícil realizar afirmações específicas e robustas sobre todos os temas tratados nos questionários aplicados pela CGU. De todo modo, essas pouco mais de duas centenas de PIs permitiram encontrar evidências contundentes sobre a truncada relação universidade-empresa na indústria de *software* brasileira a partir de poucos, mas relevantes, indicadores.

Uma das ausências mais relevantes na análise aqui realizada diz respeito aos valores arrecadados pelas Ifes com contratos de TT relacionados a cada PI de registros de programas de computador. Limitações na coleta de dados impediram tal nível de desagregação para todas as PIs com um nível mínimo de qualidade. Por isso, não foi possível dar esse tratamento.

Contudo, é possível afirmar que, agregadamente, o estoque total das PIs em todas as 69 Ifes permitiu uma arrecadação aproximada de R$ 51,6 milhões (preços de 2020 para o período de 2015-2020). A título de comparação, só a rubrica de investimento das Ifes, em 2020, foi de R$ 1,4 bilhão (Brasil, 2022b).

Mesmo com dificuldades de desagregação, foi possível identificar casos relevantes, porém pontuais. Por exemplo, a comercialização de programas de computador pela UFRN garantiu o recebimento de cerca de R$ 6 milhões, a mais alta arrecadação individual para esse tipo de PI em 2020.

Esses baixos valores relativos são eloquentes e corroboram os dados apresentados anteriormente, isto é, existe hoje um vasto potencial não explorado de conhecimento e tecnologia que, apesar dos esforços e incentivos, não consegue fluir da universidade para o setor produtivo, mesmo em uma indústria tão dependente de conhecimento científico de fronteira como o desenvolvimento de *softwares*.

A causa dessa baixa arrecadação, que transcende as PIs de programas de computador, está associada a uma baixa taxa de interesse comercial, isto é, 93,5% dos pedidos de PIs desse tipo não despertaram o interesse comercial.

É difícil realizar uma comparação internacional válida para esse indicador, uma vez que seria necessário saber os contratos assinados por cada PI depositada em programas de computador, e esse dado não está disponível. Contudo, a julgar pelas informações apresentadas pelo escritório de transferência de tecnologia da Universidade de Stanford, apresentadas no box 1 deste capítulo, é razoável supor que a taxa de interesse comercial brasileira é significativamente baixa para qualquer recorte setorial.

Corroborando essas afirmações (mas sem criar um indicador comparável), pode-se citar, a título ilustrativo, que o escritório de transferência de tecnologia da universidade do Instituto de Tecnologia de Massachussetts (MIT), em 2022, fez a solicitação de 311 pedidos de patentes e assinou 99 contratos de licenciamento (TLO, 2022).

Seguramente, em alguma medida, a taxa das Ifes se deve aos fortes incentivos de instituições no fomento à CT&I para que os programas de computador sejam registrados, independentemente da avaliação de sua atratividade comercial. Isto é, o fato de o registro de um programa de computador desenvolvido pela Ifes muitas vezes ser exigido para que este seja válido enquanto resultado da pesquisa acadêmica,

mesmo não tendo apelo comercial, cria um vetor de forte incentivo para que tudo seja registrado e grande ruído seja produzido nos dados.

É verdade, contudo, que o registro de programas de computador é relevante como fonte de informação tecnológica para a sociedade, de forma bastante acessível, sobre o estado da técnica (desenvolvimento tecnológico) disponível. Contudo, se esses registros não são licenciados, não há aplicação social concreta. Na medida em que as Ifes, por definição, não têm interesse estratégico de bloquear o acesso de concorrentes à tecnologia, a PI acaba funcionando apenas como estoque comprovado de tecnologias disponíveis.

Adicionalmente, é preciso lembrar que os registros de programas de computador possuem custos materiais e imateriais. De fato, independentemente do interesse comercial que eles possam despertar, existe todo um trabalho de solicitação, manutenção e guarda por parte do NIT, o qual, em sua maior parte, deveria ser dedicado à TT. Além disso, como dito antes, os registros de programa de computador também bloqueiam potenciais interessados que não pagariam para ter acesso à tecnologia e podem criar apenas mais entrave documental para a sua livre exploração.

O fato essencial é que, para as universidades, os registros de programas de computador foram criados para permitir a negociação comercial da tecnologia desenvolvida, mas, pouco a pouco, se transformaram em documentos de comprovação de produção tecnológica por si. Isso acaba por criar distorções importantes no sistema de inovação.

Nesse contexto, o indicador de interesse comercial revela que a pesquisa em *software* nas Ifes brasileiras não tem sido introduzida no ambiente produtivo, como o é em outros países.

Esse fato é preocupante pois, tal como tratado na seção teórica deste capítulo, as inovações da indústria de *software* de classe mundial muito dependem de conhecimento científico de fronteira. A atual onda de inovação nessa indústria, que utiliza a IA, foi realizada com base em avanços científicos de importantes universidades, e existe forte cooperação na área de processamento de linguagem natural entre empresas como Google e OpenAI e universidades. De fato, as universidades de Stanford, MIT, Berkeley e Carnegie Mellon estão entre as parceiras citadas pela OpenAI nos diversos desenvolvimentos da empresa.

Justamente essa virtuosa relação universidade-indústria-governo, muito difícil de emular fora dos Estados Unidos, permitiu criar as inovações que hoje se difundem pelo mundo a uma taxa inédita e crescente. Hoje, a indústria mundial de *software* se alimenta intensamente da descoberta científica e do conhecimento gerado nas universidades, principalmente naquelas consideradas de ponta.

Essa constante e virtuosa relação acaba por provocar grande oportunidade tecnológica, que, por sua vez, exige constante atualização das capacidades e características dos *softwares*. Ou seja, a velocidade e a intensidade da mudança são maiores do que a média das atividades econômicas. E o diuturno fluxo de conhecimento de fronteira que flui da universidade para o tecido produtivo e para a empresa garante a manutenção dessa dinâmica. Assim sendo, o que resta a uma indústria de *software* que não possui tal fluxo?

É verdade, contudo, que existem casos de sucesso, mas eles acabam por se diluir no ruído provocado por tantas PIs sem interesse comercial. De fato, com um número elevado de PIs (3.342), o esperado é haver alguns desses casos. A questão é que, organicamente, a pesquisa realizada nas Ifes em programas de computador não está chegando na economia brasileira como insumo ao processo inovativo.

A ausência de fluxos de conhecimento na relação universidade-empresa não é apenas prejudicial ao ambiente empresarial; as universidades podem se beneficiar de conhecimento prático produzido nos mercados e nas relações sociais. Novos instrumentos científicos, técnicas e metodologias podem fluir das empresas para as universidades, assim como novos desafios científicos. É sempre bom lembrar que a termodinâmica enquanto ciência surge apenas depois da ampla difusão da máquina a vapor, e não o contrário.

Currículos de formação podem ser adequados e um ambiente favorável à criatividade e à descoberta pode ser criado quando essa relação é virtuosa, além, evidentemente, da arrecadação de recursos extraordinários. É justamente a partir do reconhecimento de que o benefício é mútuo que se criaram as estratégias baseadas em polos, parques, incubadoras e aceleradoras.

Adicionalmente, pouco se pode dizer sobre a IA com base nos dados aqui apresentados, apenas que ela está presente em número significativo de PIs com interesse comercial e que, apesar das potencialidades atualmente tão discutidas,[25] não foi capaz de transformar a dinâmica geral aqui descrita.

Talvez o mais importante achado deste esforço de pesquisa seja a comprovação empírica de que pedidos de registro de programas de computador não são um bom indicador da geração de tecnologia comercialmente aplicável. Isto é, na literatura econômica, enquanto artigos indexados são empregados como indicadores de *output* científico, PIs, por sua vez, são largamente empregadas como indicadores de *output* de inovação. As evidências aqui apresentadas exigem que se relativize tal emprego. Isso porque, em PIs de programas de computador provenientes de Ifes, a maior parte não tem despertado interesse comercial.

25. Disponível em: https://time.com/6255952/ai-impact-chatgpt-microsoft-google/.

Análises iniciais, que ainda precisam ser detalhadas, mostram que o mesmo acontece com os outros tipos de PI. Em menor intensidade, é verdade, mas a maior parte das PIs ainda parece ser ruído, que é produzido em função de incentivos quase puramente acadêmicos.

Assim, as estruturas formais criadas para promover a TT nas Ifes, em parte, estão sendo utilizadas para atender requisitos de avaliação e monitoramento de órgãos centrais responsáveis por essas funções e não se dedicando, plenamente, em traduzir o conhecimento científico produzido na universidade para a linguagem e lógicas empresariais.

De fato, a própria criação dessa infraestrutura de apoio à pesquisa tecnológica universitária se deve à adoção acrítica do modelo de tripla hélice a partir de uma realidade norte-americana muito específica. Nessa teorização, a PI é sinônimo de aplicação comercial e, para setores de alta oportunidade tecnológica e cumulatividade, a principal fonte de inovações radicais. Como se viu aqui, esse não parece ser o caso para o desenvolvimento de programas de computador.

Este capítulo não tratou de outras maneiras mais indiretas da contribuição das Ifes para a atividade econômica, inclusive em programas de computador, como a formação de mão de obra qualificada, porque esse não era o objetivo do trabalho. Mas é importante registrar que a comercialização da pesquisa acadêmica é apenas uma das muitas formas que pode tomar a relação universidade-empresa.

Além da questão da mão de obra, não se abordou aqui o apoio na forma de polos, parques, incubadoras e aceleradoras, ou mesmo a relevância da pesquisa acadêmica, para difundir conhecimento e oxigenar o tecido produtivo local. Esses vetores, mais indiretos e subjetivos, também precisam ser analisados, pois têm influência na atividade econômica.

De fato, é interessante que os dados aqui apresentados contrastem com a recente onda de criação de *startups* que exploram a indústria de *software* a partir do ambiente universitário. Diferentes grandes empresas têm criado *hubs* de inovação que visam promover estratégias de *open innovation* com base nas *startups* presentes no ecossistema acadêmico.[26] Especula-se que esse contraste se deva ao fato de que tais *hubs* ainda são muito recentes para gerar resultados mensuráveis em termos de PIs.

Da mesma maneira, é preciso reconhecer que outras estratégias de relacionamento, mais sofisticadas, estejam sendo empregadas pelas empresas que buscam a universidade. Como já mencionado, negociar a PI é a forma mais óbvia e formal, mas está longe de ser a única.

26. Disponíveis em: https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2022/03/22/hubs-de-inovacao-conectam-grandes-empresas-a-startups-e-universidades.htm e https://valor.globo.com/patrocinado/embratel/juntos-no-proximo-nivel/noticia/2023/05/12/hub-proximo-nivel-conecta-frentes-de-inovacao-apresentadas-no-web-summit-rio.ghtml.

Finalmente, é preciso ressaltar que as Ifes não respondem pela totalidade das universidades brasileiras. Nesse grupo, não estão incluídas universidades estaduais, privadas nem importantes centros universitários, como USP, Unicamp, Pontifícia Universidade Católica do Rio de janeiro (PUC-RJ). Apesar disso, o subconjunto aqui considerado ainda é representativo da realidade nacional. Mas, mesmo para a indústria de *software*, generalizações e extrapolações precisam ser feitas com ressalvas, principalmente considerando a ausência das universidades estaduais paulistas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este foi o primeiro esforço de pesquisa realizado a partir de uma base inédita e censitária de dados produzida pela CGU. Inúmeras outras avaliações ainda podem ser feitas, abordando diferentes resultados das pesquisas das Ifes. Esse primeiro esforço foi, então, uma tentativa de sistematizar e analisar esses dados à luz da indústria mais discutida no momento, a indústria de *software*.

Os achados aqui apresentados, que se restringem à dinâmica técnico-econômica da indústria de *software*, demandam que se revejam mecanismos de incentivos que acabam por desvirtuar um importante indicador do resultado da pesquisa científica, a PI.

As avaliações da produção tecnológica (em programas de computador) das universidades brasileiras talvez pudessem ser feitas com base nos contratos de TT assinados e nas cotitularidades empresariais, mas não apenas com base na PI. Este capítulo mostrou que, para registros de programa de computador, a PI não é uma boa *proxy* da produção inovativa. Uma primeira análise de todos os outros tipos de PI aponta no mesmo sentido.

Por isso, as investigações aqui realizadas precisam ser expandidas e cruzadas com outras bases de dados. Por exemplo, com os investimentos do P&D da Aneel e com subvenção e crédito da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep). Esses cruzamentos permitiriam qualificar melhor esse pequeno, mas importante, grupo de 220 PIs que despertaram interesse comercial. Desses cruzamentos, poderiam se extrair importantes informações, como: i) impactos dos recursos públicos na comercialização da P&D universitária; ii) adequação das empresas beneficiárias; e iii) áreas de aplicação mais demandadas etc.

Uma avaliação mais ampla talvez tenha de seguir outras opções metodológicas em função das diferenças nos tipos de PI. Neste capítulo, as escolhas foram feitas para dar tratamento adequado à indústria de *software*, uma atividade cujo registro não é obrigatório, mas é fortemente incentivado, que possui alta cumulatividade e altas oportunidades tecnológicas. Assim, os achados deste estudo não podem ser, automaticamente, extrapolados para todos os setores.

De qualquer forma, este é um estudo parcial que observou apenas um lado da relação universidade-empresa no Brasil e apenas para um setor. Para uma visão completa, é necessário introduzir a perspectiva empresarial e a maneira como a indústria de *software* no Brasil se insere nos fluxos tecnológicos internacionais. Mas, por exigir outro ferramental analítico e depender de outras bases de dados, foge aos objetivos deste trabalho.

Considerando especificamente a indústria de *software*, o que resta evidente aqui é a impossibilidade de: i) tratar a relação universidade-empresa no Brasil como similar àquela observada nos países desenvolvidos, notadamente nos Estados Unidos; ii) eleger o número absoluto da produção de PI por parte das universidades como uma boa *proxy* do sucesso dessa mesma relação; e iii) aumentar o número de inovações geradas na indústria de *software* a partir, apenas, do incentivo de seu registro em bases oficiais.

Finalmente, é preciso avaliar, em detalhe, quais são as características exatas da pesquisa em programas de computador realizados pelas Ifes brasileiras. Se, por um lado, foi identificado um baixo interesse comercial, por outro, é preciso investigar o impacto dessa mesma pesquisa na produção científica mundial. Esse não foi o escopo deste texto. Além disso, é preciso compreender se outras maneiras mais informais de relação estão ocorrendo e se a atual onda de *hubs* de inovação está afetando a dinâmica da indústria de *software* e a relação universidade-empresas a ela associada.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, E. da M. National systems of innovation and Non-OECD countries: notes about a rudimentary and tentative "typology". **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 19, p. 602-620, 1999.

ALBUQUERQUE, E.; CARIO, S. A. F.; SUZIGAN, W. **Em busca da inovação**: interação universidade-empresa no Brasil. São Paulo: Autêntica, 2011.

AUERSWALD, P. E. Entrepreneurship in the theory of the firm. **Small Business Economics**, v. 29, n. 4, p. 291-304, 2007.

BRASIL. Lei nº 10.973/2004, de 2 de dezembro de 2004. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 2, 3 dez. 2004.

_____. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Instituto Nacional da Propriedade Intelectual. **Resolução Inpi/PR nº 158/2016**, de 28 de novembro de 2016. Institui as diretrizes de exame de pedidos de patentes envolvendo invenções implementadas por programas de computador. Brasília: Inpi, 2016. Disponível em: https://www.gov.br/inpi/pt-br/assuntos/arquivos-dirpa/158_2016_patentesprogramacomputador.pdf.

_____. Lei nº 14.133/2021, de 1º de abril de 2021. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. **Diário Oficial da União**, Brasília, n. 61-f, p. 1, 1º abr. 2021. Seção 1.

_____. Ministério da Educação. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. **Documento orientador de APCN**: área 03 – astronomia/física. Brasília: Capes/MEC, 2022a.

_____. Controladoria-Geral da União. **Auditoria Economia da Inovação nas Universidades Públicas Federais (Ifes)**. Brasília: CGU, 2022b. (Relatório, n. 817123). Disponível em: https://eaud.cgu.gov.br/relatorios?colunaOrdenacao=dataPublicacao&direcaoOrdenacao=DESC&tamanhoPagina=15&offset=0&fixos=#lista.

_____. Ministério da Educação. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. **Documento orientador de APCN**: área 02 – ciência da computação. Brasília: Capes/MEC, 2023.

BRIN, S.; PAGE, L. The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine. **Computer Networks and ISDN Systems**, v. 30, n. 1-7, p. 107-117, 1998. Disponível em: https://snap.stanford.edu/class/cs224w-readings/Brin98Anatomy.pdf.

CAMPBELL-KELLY, M.; ASPRAY, W. **Computer**: a history of the information machine. Boulder, CO: Westview Press, 2004.

CARAYANNIS, E. G.; CAMPBELL, D. F. Triple helix, quadruple helix and quintuple helix and how do knowledge, innovation and the environment relate to each other? **International Journal of Social Ecology and Sustainable Development**, v. 1, n. 1, p. 41-69, 2010.

CERUZZI, P. E. **Computing**: a concise history. Cambridge, MA: MIT Press, 2012.

CHEDID, M.; CARVALHO, T.; TEIXEIRA, L. University-software industry collaboration: an empirical study based on knowledge management. **Knowledge Management Research & Practice**, v. 20, n. 4, p. 593-605, 2020.

ETZKOWITZ, H.; LEYDESDORFF, L. The dynamics of innovation: from national systems and "mode 2" to a triple helix of university-industry-government relations. **Research Policy**, v. 29, n. 2, p. 109-123, 2000.

GARCIA, R.; SUZIGAN, W. **As relações universidade-empresa**. Campinas: Unicamp, mar. 2021. (Texto para Discussão, n. 405).

HUGHES, A. University industry links and UK science and innovation policy. *In*: YUSUF, S.; NABESHIMA, K. (Ed.). **How universities promote economic growth**. Washington, DC: World Bank, 2007. p. 71-90.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa de Inovação (Pintec) 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/ciencia-tecnologia-e-inovacao/9141-pesquisa-de-inovacao.html. Acesso em: 25 abr. 2023.

LESLIE, S. W.; KARGON, R. H. Selling Silicon Valley: Frederick Terman's model for regional advantage. **Business History Review**, v. 70, n. 4, p. 435-472, 1996.

MAZZUCATO, M. **Mission economy**: a moonshot guide to changing capitalism. London: Penguin UK, 2021.

MOWERY, D. C.; ROSENBERG, N. **Paths of innovation**: technological change in 20th-century America. New York: Cambridge University Press, 1999.

OTL – OFFICE OF TECHNOLOGY LICENSING. **Annual Report FY 2021**. Redwood City: Stanford, 2021. Disponível em: https://otl.stanford.edu/sites/g/files/sbiybj16766/files/media/file/stanford_otl_annual_report_fy2021_0.pdf.

PAGE, L. *et al*. The PageRank citation ranking: bring order to the web. **Technical Report**, Stanford University, 1998.

RAUEN, C. V. O elemento tradução e o êxito na incubação de projetos tecnológicos: o caso da incubadora do INMETRO. **Revista Gestão & Conexões**, v. 3, p. 25-46, 2014.

_____. O Novo Marco Legal da Inovação no Brasil: o que muda na relação ICT-Empresa. **Radar**: Tecnologia, Produção e Comércio Exterior, v. 2, p. 21-35, 2016.

SUZIGAN, W.; ALBUQUERQUE, E. da M. **A interação entre universidades e empresas em perspectiva histórica no Brasil**. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, p. 1-27, 2008.

TLO – TECHNOLOGY LICENSING OFFICE. **Annual Report 2022**. MIT, 2023. Disponível em: https://web.mit.edu/tlo/documents/TLO-FY2022-Annual%20Report.pdf.

YIN, Robert K. **Case study research**: design and methods. Thousand Oaks: Sage, 2009.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

ARORA, A.; GAMBARDELLA, A. **From underdogs to tigers**: the rise and growth of the software industry in Brazil, China, India, Ireland, and Israel. New York: Oxford University Press, 2005.

BRESCHI, S; MALERBA, F. Sectoral innovation systems: technological regimes, Schumpeterian dynamics, and spatial boundaries. *In*: EDQUIST, C. **Systems of innovation**: technologies, institutions and organizations. Londres: Routledge, n. 1, p. 130-56, 1997.

BRESNAHAN, T. F.; TRAJTENBERG, M. General purpose technologies: "engines of growth"? **Journal of Econometrics**, v. 65, n. 1, p. 83-108, 1995.

DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research Policy**, v. 11, n. 3, p. 147-162, 1982.

LANGLOIS, R. N.; STEINMUELLER, W. E. Strategy and circumstance: the response of American firms to Japanese competition in semiconductors, 1980-1995. **Strategic Management Journal**, v. 21, n. 10-11, p. 1163-1173, 2000.

LAURSEN, K.; SALTER, A. Searching high and low: what types of firms use universities. **Research Policy**, v. 33, p. 1201-1215, 2004.

MESSERSCHMITT, D. G.; SZYPERSKI, C. **Software ecosystem**: understanding an indispensable technology and industry. Cambridge, MA: MIT Press, 2003.

PERKMANN, M. *et al*. Academic engagement and commercialisation: a review of the literature on university-industry relations. **Research Policy**, v. 42, n. 2, p. 423-442, 2013.

RAUEN, A. T.; FURTADO, A. T. Indústria de alta tecnologia: uma tipologia baseada na intensidade de P&D e no desempenho comercial. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 13, n. 2, p. 405-432, 2014.

STEINMUELLER, W. E. The U.S. software industry: an analysis and interpretive history. *In*: MOWERY, D. C. (Ed.). **The international computer software industry**: a comparative study of industry evolution and structure. New York: Oxford University Press, 1996. p. 15-47.

_____. The role of technical standards in coordinating the division of labor in complex system industries. **Information Economics and Policy**, v. 15, n. 3, p. 347-363, 2003.

WRIGHT, M. *et al*. Mid-range universities' linkages with industry: knowledge types and the role of intermediaries. **Research Policy**, v. 37, n. 8, p. 1205-1223, 2008.

ZUCKER, L. G.; DARBY, M. R.; ARMSTRONG, J. S. Commercializing knowledge: university science, knowledge capture, and firm performance in biotechnology. **Management Science**, v. 48, n. 1, p. 138-153, 2002.

APÊNDICE

QUADRO A.1
Lista das 69 Instituições Federais de Ensino Superior (Ifes) registradas no Ministério da Educação (MEC)

Nome da instituição	Sigla
Fundação Universidade de Brasília	UNB
Fundação Universidade do Amazonas	UFAM
Fundação Universidade do Maranhão	UFMA
Fundação Universidade Federal da Grande Dourados	UFGD
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso	UFMT
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul	UFMS
Fundação Universidade Federal de Pelotas	UFPEL
Fundação Universidade Federal de Rondônia	Unir
Fundação Universidade Federal de São Carlos	UFSCAR
Fundação Universidade Federal de São João Del Rei	UFSJ
Fundação Universidade Federal de Sergipe	UFS
Fundação Universidade Federal de Uberlândia	UFU
Fundação Universidade Federal do ABC	UFABC
Fundação Universidade Federal do Acre	UFAC
Fundação Universidade Federal do Amapá	Unifap
Fundação Universidade Federal do Pampa	Unipampa
Fundação Universidade Federal do Piauí	UFPI
Fundação Universidade Federal do Tocantins	UFT
Fundação Universidade Federal do Vale do São Francisco	Univasf
Universidade Federal da Bahia	UFBA
Universidade Federal da Fronteira Sul	UFFS
Universidade Federal da Integração Latino-Americana	Unila
Universidade Federal da Lusofonia Afro-Brasileira	Unilab
Universidade Federal da Paraíba	UFPB
Universidade Federal de Alagoas	Ufal
Universidade Federal de Alfenas	Unifal
Universidade Federal de Campina Grande	UFCG
Universidade Federal de Catalão	UFCAT
Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre	UFCSPA
Universidade Federal de Goiás	UFG
Universidade Federal de Itajubá	Unifei
Universidade Federal de Jataí	UFJ
Universidade Federal de Juiz de Fora	UFJF

(Continua)

(Continuação)

Nome da instituição	Sigla
Universidade Federal de Lavras	UFLA
Universidade Federal de Minas Gerais	UFMG
Universidade Federal de Ouro Preto	UFOP
Universidade Federal de Pernambuco	UFPE
Universidade Federal de Rondonópolis	UFR
Universidade Federal de Roraima	UFRR
Universidade Federal de Santa Catarina	UFSC
Universidade Federal de Santa Maria	UFSM
Universidade Federal de São Paulo	Unifesp
Universidade Federal de Viçosa	UFV
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco	Ufape
Universidade Federal do Cariri	UFCA
Universidade Federal do Ceará	UFC
Universidade Federal do Delta do Parnaíba	UFDPAR
Universidade Federal do Espírito Santo	UFES
Universidade Federal do Estado Rio de Janeiro	Unirio
Universidade Federal do Norte do Tocantins	UFNT
Universidade Federal do Oeste da Bahia	Ufob
Universidade Federal do Oeste do Pará	Ufopa
Universidade Federal do Pará	UFPA
Universidade Federal do Paraná	UFPR
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia	UFRB
Universidade Federal do Rio de Janeiro	UFRJ
Universidade Federal do Rio Grande	FURG
Universidade Federal do Rio Grande do Norte	UFRN
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	UFRGS
Universidade Federal do Sul da Bahia	UFSB
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará	Unifesspa
Universidade Federal do Triângulo Mineiro	UFTM
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri	UFVJM
Universidade Federal Fluminense	UFF
Universidade Federal Rural da Amazônia	UFRA
Universidade Federal Rural de Pernambuco	UFRPE
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro	UFRRJ
Universidade Federal Rural do Semi-Árido	Ufersa
Universidade Tecnológica Federal do Paraná	UTFPR

Elaboração dos autores.

CAPÍTULO 12

GOVERNANÇA GLOBAL – OCDE, REGULAÇÃO, NORMAS TÉCNICAS E TECNOLOGIA DIGITAL[1]

Luís Fernando Tironi[2]

1 INTRODUÇÃO E METODOLOGIA

A Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) desempenha importante papel na governança global, atuando com ênfase na promoção das melhores práticas regulatórias (MPRs). Ao longo do tempo, sua atuação avançou conforme evoluíram os desafios com que se deparou, o que lhe confere um acervo de respostas aos problemas que se apresentam ao desenvolvimento.

Este trabalho oferece uma visão das respostas da OCDE ao longo do tempo às questões do desenvolvimento, que incorporam também as possibilidades e os riscos trazidos pela transformação digital.

Busca-se, no trabalho, qualificar os principais elementos desse processo, bem como avaliar o que se pode esperar em termos de evolução futura e as opções para o Brasil, tendo em vista a atualização das suas estratégias de desenvolvimento.

O elemento digital, presente praticamente em todas as ações e bens contemporâneos, transpassando fronteiras geográficas, econômicas e políticas, demanda a superação e a atualização de pressupostos de política industrial clássica. A temática da política industrial e da inovação, revisitados seus conceitos e instrumentos à luz do paradigma digital, ganha relevância para o atual posicionamento da OCDE. Nesse contexto se destaca o papel da norma e da normalização técnica.

O trabalho é baseado na análise descritiva de documentos provenientes da OCDE, alguns oficialmente adotados nas suas diretrizes e resoluções, outros constituintes da bibliografia produzida ou promovida pela organização. A velocidade das mudanças tecnológicas e organizacionais a partir do avanço da tecnologia e da economia digital justifica a inclusão de fontes de informação ainda não oficialmente adotadas em recomendações da organização. As informações são as acessadas em buscas na internet.

---

1. O autor agradece aos dois pareceristas que avaliaram este capítulo, eximindo-os de quaisquer erros ou emissões remanescentes.

2. Bolsista do Subprograma de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais, de Inovação, Regulação e Infraestrutura do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Diset/Ipea).

Após esta introdução, o trabalho apresenta as ênfases que marcam a evolução da OCDE, realçando os aspectos da relação entre governança e norma técnica, o papel do padrão técnico internacional[3] e a emergência da tecnologia digital. Nas considerações finais, procura-se consolidar os elementos que configuram o escopo do trabalho, para oferecer algumas sugestões de política.

Dada a amplitude do tema, delimitou-se o escopo do trabalho optando por abordagens parciais que, articuladas, contribuam para uma visão de conjunto. As seções abordam as seguintes temáticas: OCDE e governança global, regulação e norma técnica,[4] e tecnologia digital. A instrumentalização da governança por meio da regulação é examinada, assim como a relação entre a norma técnica e a regulação.[5]

O estudo almeja contribuir para a compreensão de como a governança global incorpora o desenvolvimento do paradigma digital e o utiliza como um recurso da governança. O interesse no papel e na atuação da OCDE na governança global com foco na regulação e na normalização técnica se justifica também pela perspectiva de adesão do Brasil à organização, em andamento.

Na esfera da governança do comércio internacional, a regulação e a norma técnica podem ser objetos de escrutínio em conflitos de interesses entre partícipes dos acordos, considerando-se o enquadramento regulatório da Organização Mundial do Comércio (OMC) e seus acordos sobre medidas sanitárias e fitossanitárias (*sanitary and phytosanitary measures* – SPS) e sobre barreiras técnicas ao comércio (*technical barriers to trade* – TBT). O respaldo técnico-científico (Melillo, 2022) de medidas objeto de controvérsia é necessário para que uma medida restritiva ao comércio se justifique.

---

3. Sobre os termos em inglês e português empregados neste capítulo, esclareça-se que *standard* equivale a padrão, enquanto *technical standard* equivale à norma técnica. *Standardization* equivale à padronização ou normalização (geral ou técnica). *Technical standardization* equivale à estandardização ou normalização técnica. Normalização técnica é aplicada ao desenvolvimento e à adoção da norma técnica.

4. Pode-se definir norma técnica como um "documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido que provê, para uso comum e repetido, regras, diretrizes ou características para os seus resultados, visando ao atingimento do ótimo grau de ordem em um dado contexto" (ISO/IEC, 2016 *apud* Egyedi, Widlak e Ortt, 2018, p. 2, tradução nossa).

5. O envolvimento da OCDE com a emergente tecnologia digital data do início da última década do século passado (1992), quando emitiu o primeiro instrumento legal sobre o assunto, a recomendação Diretrizes para Segurança dos Sistemas de Informação (*Security Guidelines*). Nos trinta anos subsequentes, os posicionamentos da organização evoluíram em compasso com o desenvolvimento tecnológico digital e sua difusão por todas as atividades e lugares. A recomendação de 2015 enfatiza as perspectivas econômicas e sociais, além da dimensão meramente tecnológica da digitalização. O Instrumento Legal da OCDE nº 0479 de 2022, o mais recente no âmbito da segurança digital, juntamente com outros setoriais a respeito de criptografia, autenticação eletrônica e outras, atualiza o posicionamento da organização para um espectro de questões como risco digital, gestão de risco digital e segurança digital, considerando as dimensões econômicas, sociais e tecnológicas, como os padrões técnicos (OECD, 2022a). A recomendação – endereçada aos membros da organização e aos não membros aderentes às suas orientações – aponta quatro princípios gerais e cinco princípios operacionais para a segurança digital. A produção técnica da organização no âmbito da segurança digital e cibernética é bastante elevada, superior a três centenas de documentos. A recomendação em questão alcança temas como confiabilidade, privacidade, melhores práticas, metodologia, cadeias de suprimentos, padrões, responsabilização e outros. Agradeço ao José Eduardo Brandão pela menção ao tópico.

São necessários padrões de evidências científicas, algo que, se já não é trivial em se tratando de tecnologias convencionais, será ainda mais desafiador em situações que envolvam a tecnologia digital, em questões como segurança cibernética, propriedade intelectual, defesa da concorrência e comércio de serviços. O tratamento com base no princípio de que toda a informação relevante deve ser considerada, aplicado à tecnologia convencional, torna-se bem mais complexo no contexto digital.

2 GOVERNANÇA GLOBAL E NORMA TÉCNICA

A governança regulatória internacional tem base em um conjunto de tratados e acordos que regulamentam as relações entre países e agências. Organismos internacionais regulatórios de recorte global, regional ou setorial integram o arcabouço da governança global.

A OCDE constitui um foro para governos compartilharem experiências e buscarem soluções para problemas econômicos e sociais comuns (Arima Junior, 2020). Conta atualmente com 38 países-membros, entre industrializados e emergentes, e outros em processo de adesão.

A OCDE atua na governança global ao lado de entidades como a Organização das Nações Unidas (ONU), o Banco Mundial, o Fundo Monetário Internacional (FMI), a OMC e outras. A organização exerce grande influência na governança global, uma vez que tem entre os seus membros os países mais importantes no cenário internacional.

A posição especial da OCDE no cenário internacional lhe permite promover políticas para o desenvolvimento e a melhoria do bem-estar econômico e social em colaboração com os países-membros, os países aderentes às suas recomendações e outros, totalizando mais de cem. Seu principal foco de atuação é a disseminação das MPRs.

Historicamente, a OCDE promove os seguintes princípios: transparência; equidade; livre escolha; coerência entre objetivos e práticas regulatórias; e ação com base no conhecimento científico e na cooperação. Sua ação conflui para a promoção de políticas voltadas para o livre mercado e o livre-comércio.

Com base na experiência regulatória dos países, a OCDE promove o aprimoramento e a adequação das metodologias e dos procedimentos, que são difundidos a todos os países interessados. Grande ênfase é dada na promoção da cooperação regulatória entre os países, e entre esses e os organismos internacionais.

A OCDE mantém sintonia, se ajusta e em certa medida se antecipa aos novos desafios e possibilidades que se sucedem ao longo do tempo no cenário global. Além dos motivos que deram origem à sua própria existência, inicialmente como

promotora da recuperação econômica no pós-Segunda Guerra, a OCDE se posiciona em face dos desafios permanentes ao desenvolvimento e aos novos desafios. Hoje, as novas questões são a mudança climática, crises disruptivas como a pandemia da covid-19, e inovações tecnológicas paradigmáticas como a transformação digital.

A atuação da OCDE alcança, além dos países-membros e não membros interessados, os organismos reguladores internacionais, com os quais mantém permanente interação. A cooperação enseja o desenvolvimento de entrelaçamentos e arranjos institucionais e internacionais, eventualmente temporários, que respondem às necessidades, aos desafios, aos interesses e aos objetivos dos países e dos organismos internacionais. Assim, responde à evolução geopolítica, à modernização tecnológica e às emergências de impacto global.

Há convergência de propósitos e de atuação entre a OCDE e a OMC, visto que ambas buscam o desenvolvimento econômico e o multilateralismo, valendo-se da regulamentação para alcançar seus objetivos. Ambas são favoráveis ao emprego da norma técnica internacional, particularmente no comércio, ainda que a OMC detenha mandatos para fazer-se atendida (capacidade de *enforcement*), o que a OCDE não possui.

A emergência do paradigma digital representou um impacto para o posicionamento da OCDE em relação aos padrões técnicos internacionais. Examinar como isso acontece e como a OCDE responde a esse desafio é o objetivo desta seção do trabalho.

A estrutura de desenvolvimento de normas técnicas e a estrutura laboratorial, técnico-científica e industrial conexa, como serviços de teste e ensaios, avaliação de conformidade e certificação, a chamada infraestrutura da qualidade (IQ), constituem parte importante da governança internacional (Tironi, 2016; 2019).

Países industrial e cientificamente desenvolvidos lideram o estabelecimento dos padrões técnicos e científicos, os quais convergem, ainda que desigualmente, para os padrões internacionais. Nos países menos desenvolvidos, a norma técnica também apresenta convergência com os padrões internacionais.

A convergência internacional da normalização técnica em cada país é motivada por necessidades do comércio e pela possibilidade de transferência de tecnologia. Em sentido contrário à convergência da regulação e das normas técnicas internacionais, atuam interesses protecionistas com diversas motivações, desde as diretamente comerciais até as voltadas para a busca de autarquia tecnoprodutiva.

Na arquitetura da regulação e da normalização técnica, mundialmente, a regulação é precipuamente competência do agente ou autoridade pública, enquanto a normalização técnica o é dos agentes produtivos. Essa divisão do trabalho é historicamente determinada pelos respectivos papéis na economia: à autoridade

pública cabe governar, e às empresas e às famílias, produzir, comercializar e consumir. Embora em ambiente de estreita cooperação, as funções pública e privada atuam de modo mais independente que interdependente na regulação (atribuída ao poder público e de caráter mandatório) e na normalização técnica (realizada pelo setor privado e de caráter voluntário), ainda que se possa até considerar o padrão técnico uma dimensão da regulação.

O caráter mandatório do regulamento técnico (regulação) e a adesão voluntária ao desenvolvimento, à adoção e à aplicação da norma técnica se fundamentam nas complementariedades e nas possibilidades dos interesses público e privado. As partes atuam em cooperação, sem prejuízo da incidência de determinações legais e normativas de interesse público sobre a normalização técnica.

Na hierarquia das normativas legais, o regulamento técnico é superior, pois de observância mandatória, mas a norma técnica, se incorporada ao regulamento (*supporting standard*) adquire o mesmo *status* mandatório. A norma técnica é um documento expresso em termos técnicos precisos que apresenta fundamentação técnico-científica e consistência com interesses econômicos e mercadológicos. A sinergia entre as esferas pública (regulamento técnico) e privada (norma técnica) é um dos mais relevantes fundamentos da moderna economia de mercado.[6]

As funções de regulação e normalização técnicas são complementares, e é economicamente ineficiente ao regulador responsabilizar-se pela normalização técnica. A norma técnica desenvolvida e adotada no ambiente privado é relativamente menos sujeita a alterações e mais duradoura *vis-à-vis* o regulamento técnico, mais próximo das injunções governativas. Como isso é praticado depende de características idiossincráticas dos países.

A atuação da OCDE na governança regulatória global apresenta interfaces com o ambiente da norma e da normalização técnica. Sua interveniência no desenvolvimento e na aplicação da norma técnica é indireta, basicamente por meio de um estrato de organizações normalizadoras setoriais, governamentais e não governamentais. Essas entidades são conhecidas como organizações de definição de padrões (*standard setting organizations* – SSOs) ou organizações de desenvolvimento de padrões (*standard development organizations* – SDOs).

A OCDE promove a cooperação como método de incentivar e promover o aperfeiçoamento, a difusão e a convergência das práticas regulatórias e da normalização técnica. Na esfera da normalização técnica, ela interage com as organizações internacionalmente mais relevantes. A OCDE desenvolve ação cooperativa com os organismos internacionais de normalização, principalmente a Organização

6. A norma técnica não necessariamente corresponde à melhor solução técnica e científica.

Internacional para Padronização (International Organization for Standardization – ISO), a União Internacional de Telecomunicações (International Telecommunication Union – ITU) e a Comissão Eletrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission – IEC).[7]

A norma técnica internacional facilita a regulação assim como a cooperação e a convergência regulatória entre países e organizações. Porém, ainda que isso possa ser visto como uma tendência, em virtude dos interesses que coexistem na esfera global, não é isenta de dúvidas a perspectiva de evolução de todos os atores do ambiente regulatório global para a adoção da norma técnica internacional.

Há partícipes de grande relevância na governança da normalização técnica internacional que não são perfeitamente aderentes à norma técnica internacional nos termos comumente considerados, com base nas três organizações normalizadoras internacionais (ISO, ITU e IEC). Basicamente, esse modelo de normalização técnica é seguido pela União Europeia. O modelo norte-americano de normalização técnica guarda importantes diferenças. Esses dois modelos, estruturados de modos diversos, cooperam sinergicamente, adequam-se reciprocamente e convivem bem historicamente.

3 NOVAS ÊNFASES DA OCDE

A OCDE teve por missão inicial a recuperação dos países no pós-Segunda Guerra Mundial por meio do melhor desempenho e desenvolvimento. Hoje, ela promove o desenvolvimento econômico e social por meio da convergência regulatória, almejando os melhores padrões de desempenho.

A atuação da OCDE no campo da regulação é marcada por cinco posicionamentos:

- recomendação sobre o tema em 1995 (OECD, 1995);
- estabelecimento de princípios para a qualidade e o desempenho regulatório em 2005 (OECD, 2005);
- atualização e detalhamento das diretrizes da organização sobre o tema em 2012 (OECD, 2012);
- realização de diagnóstico sobre a cooperação entre as organizações reguladoras internacionais no contexto global em 2016 (OECD, 2016); e
- recomendação sobre a emergência do paradigma digital (OECD, 2019a).

7. Além dessas, existem importantes organizações que desenvolvem padrões técnicos setoriais mundialmente relevantes, como o National Institute of Standards and Technology (Nist), dos Estados Unidos, o Deutsches Institut für Normung (DIN), da Alemanha, entre outras.

A recomendação de 1995 contém orientações técnicas para o desenvolvimento e a adoção de boas práticas regulatórias (OECD, 1995). O documento de 2005 contém princípios e diretrizes para a prática regulatória, com recomendação de adoção do padrão internacional, buscando promover a harmonização regulatória (OECD, 2005). O posicionamento da OCDE divulgado em 2012, após a crise financeira de 2008, realça a percepção de que o sistema de governança, principalmente a governança econômico-financeira global, não estaria funcionando adequadamente, e propõe aperfeiçoamentos na atividade regulatória. A proposição de 2012 se estende sobre conceitos relativos às boas práticas regulatórias e atenua posicionamentos mais assertivos em relação ao tamanho do Estado presentes no documento anterior, de 2005.

Em 2016, a OCDE realiza pesquisa sobre cooperação regulatória, analisando o perfil institucional das organizações internacionais (OIs) e avaliando o real alcance e efetividade das suas ações e decisões – questão complexa, levando-se em conta o caráter voluntário da cooperação entre OIs e entre elas e países (OECD, 2016). As cinquenta principais OIs regulatórias foram envolvidas neste estudo, e sua realização realçou o comprometimento da OCDE com o desempenho da normalização técnica no arcabouço regulatório global.

A pesquisa de 2016 mantém a perspectiva dos documentos da OCDE quanto à validade do enfoque técnico na ação regulatória na governança global. A posição do presidente da OCDE, externada no prefácio do relatório da pesquisa, indica temas emergentes de interesse da organização, como o papel da regulação internacional para o multilateralismo e a expansão da regulação privada, particularmente a vinculada ao tema da sustentabilidade ambiental e a descarbonização atmosférica, realçando a importância da internacionalização da regulação.

Entre dezembro de 2015 e agosto de 2022, um conjunto de dezoito documentos de trabalho (*working papers*) sobre política regulatória foi elaborado, abrangendo temáticas relevantes para o aprimoramento da regulação no cenário da governança global. Esses documentos são referências para a compreensão da evolução da atuação da OCDE no período.[8]

A governança econômica global da qual a OCDE é parte atualmente depara-se com vários desafios: queda tendencial na produtividade; desenvolvimento pouco inclusivo social e economicamente; mudança climática e ameaças à sustentabilidade ambiental; questionamentos à globalização e ao multilateralismo; crise financeira global; repercussões e riscos de fenômenos disruptivos, como a pandemia da covid-19; e transformação digital. Esse cenário leva a OCDE a incluir entre seus desafios ou objetivos promover a resiliência a situações de crises

8. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/governance/oecd-regulatory-policy-working-papers_24140996.

econômicas, sanitárias, geopolíticas e outras, inclusive as que poderão advir da transformação digital.

Estudos e pesquisas realizadas ao longo da segunda década do século XX levaram a OCDE a alargar seu espectro de interesses, objetivos, prioridades e modos de atuação para fazer face àqueles desafios. Esse arco de interesses e prioridades aumentado incorpora conceitos e práticas relacionados à política industrial e à inovação.

Até o final do século passado, a tônica propositiva da OCDE era a reforma regulatória, visando ao aumento da eficiência com redução do aparato estatal e promoção da abertura comercial. Em 2005, a reforma regulatória recomendada pela OCDE passa a enfatizar a criação e o crescimento de empresas, os ganhos de produtividade, a competição, os investimentos e a abertura comercial.

A crise financeira de 2008 elevou o interesse da OCDE pelos percalços da globalização a um patamar superior. Mostrou a necessidade de ações para dotar os sistemas econômicos global e nacionais de mecanismos de resiliência econômica e financeira a crises. A crise da pandemia da covid-19 agravou os problemas do desenvolvimento não inclusivo ao impactar as cadeias de suprimentos, trazendo novos desafios para a governança global.

O projeto New Approaches to Economic Challenges (Naec) é produto desse interesse da OCDE (OECD, 2020b). Os estudos desenvolvidos no âmbito desse projeto propõem ações voltadas para dotar os sistemas econômicos global e nacionais de mecanismos de enfrentamento às desigualdades na distribuição dos benefícios do desenvolvimento, à baixa produtividade, aos desafios das mudanças climáticas, à emergência do paradigma digital e à necessidade da resiliência a crises.

Os estudos do Naec recomendam práticas regulatórias inovadoras, que utilizem, tanto na formulação quanto na avaliação de políticas públicas, estratégias e procedimentos típicos de política industrial, tais como:

- realização de investimentos orientados pela demanda, bem como por objetivos e resultados preestabelecidos ("*mission oriented*");
- coordenação e articulação de instrumentos de política; e
- avaliação de resultados efetuada por meio de testes e simulações, com correções durante a execução.

Com a crise financeira em 2008, a OCDE propõe a intensificação criteriosa da reforma regulatória, a extensão da cooperação regulatória aos países-membros e aos não membros, e o uso dos padrões internacionais. Em 2012, a OCDE emite recomendações com propostas de medidas para aperfeiçoar a abordagem do tema da regulação, detalhando e sistematizando as ações, com avaliação de

risco, transparência, prestação de contas (*accountability*) e participação, envolvendo atores públicos e sociais (partes interessadas – *stakeholders*), entre outras (OECD, 2012).

Na primeira década do século XXI, a OCDE intensificou ações para o aprimoramento regulatório, divulgando as suas recomendações de política regulatória e governança (OECD, 2012), criando na sua estrutura um setor para promover as MPRs e realizando estudos sobre cooperação regulatória.[9] Enfatizou a necessidade de divulgação dos resultados da ação regulatória, tema desde sempre inserido nas prioridades da organização (Parker e Kirkpatrick, 2012). Em 2021 (OECD, 2021a), divulga um conjunto de estudos sobre experiências de cooperação regulatória e, em 2022, uma lista de diretrizes para as boas práticas na cooperação regulatória.[10]

Em 2021, o Conselho da OCDE – instância máxima de decisão da entidade – recomenda o aproveitamento das possibilidades da inovação para proporcionar agilidade à regulação (OECD, 2021b). Esse posicionamento da OCDE, juntamente com a manifestação de interesse na temática da política industrial (OECD, 2022c), assinala a ampliação do seu foco de interesses. Inovação e política industrial são consideradas relevantes para a regulação e associadas à promoção do desenvolvimento.

4 GOVERNANÇA GLOBAL E PARADIGMA DIGITAL

Não obstante sua essencialidade, a norma técnica tem pouca presença nos estudos econômicos do desenvolvimento. Contribui para isso o fato de ela ser usualmente expressa em termos técnicos que dificultam sua abordagem nos estudos econômicos. Esse cenário passa por um processo de revisão, com crescente reconhecimento da centralidade da norma técnica, muito em função da importância que a norma técnica representa para o paradigma digital.

A importância da estandardização para o paradigma digital é elevado e crescente, particularmente para as tecnologias da informação e comunicação (TICs).

Características da norma técnica como a precisão e a concisão, e o fato de ser gerada por partes interessadas idealmente representativas (*stakeholders*) lhe conferem capacidade de minimizar riscos de regulação, especialmente nos requisitos técnicos. A norma técnica adotada em um ato regulatório contribui para mitigar os riscos regulatórios.

O ato regulatório resulta da ação governamental, geralmente no interesse de prover critérios para que as práticas de empresas, governos, usuários e consumidores

9. Disponível em: https://www.oecd.org/gov/regulatory-policy/about-regulatory-policy.htm.
10. Disponível em: https://www.oecd.org/regreform/regulatory-policy/recommendations-guidelines.htm.

possam ser empreendidas em condições de segurança e eficiência. Distintamente do ato regulatório, a norma técnica é resultado da iniciativa e da ação voluntária de agentes diversos, inclusive públicos, mas prevalentemente não governamentais.

A pandemia da covid-19 evidenciou o risco regulatório. Na esfera pública, regulações sanitárias divergentes entre países retardaram providências para o provimento de meios para o combate à pandemia. Também em relação à regulação na esfera privada, o risco regulatório se manifestou durante a pandemia. A falta de convergência regulatória resultou em cadeias de suprimentos não sustentando o fluxo de produtos.

A governança digital detém peculiaridades em relação à governança convencional, anterior ao paradigma digital. As estruturas institucionais e os instrumentos da governança na esfera das tecnologias convencionais precedem e de certo modo conformam soluções de tecnologia digital. Institucionalidades como a IQ[11] e o arcabouço regulatório respondem pela parte da tecnologia convencional e oferecem parâmetros para a tecnologia digital, como ocorre com a mobilidade urbana, as cidades inteligentes (*smart cities)*, os veículos autônomos, os *drones*. Os arcabouços regulatórios convencionais preexistentes, ao não responderem suficientemente às demandas postas pelo dinamismo da inovação digital, motivarão o surgimento de novos arranjos regulatórios voltados para a tecnologia digital (Weithmann, 2016).

A ubiquidade (Foresti, Gregorio e Vieira, 2018) da tecnologia digital se reflete na sua onipresença em praticamente todas as atividades, tornando qualquer categorização bastante complexa. Categorizações, composições e generalizações conceituais, usuais no processo de governança convencional, encontram nas TICs um grande desafio, amplificado pelo acelerado ritmo da inovação na tecnologia digital.

Um aspecto estrutural relevante para a governança global da TIC é a dualidade público-privado ou mandatório-voluntário, que diz respeito aos sistemas de estandardização e que assume diferentes arranjos e conotações de acordo com o país, setor ou tecnologia.

A governança global no paradigma tecnológico convencional é funcional, ainda que de relativamente baixa institucionalidade. Mas há referenciais bastante relevantes. Um é relativo ao padrão técnico internacional, desenvolvido nas organizações de estandardização internacionais, embora não se disponha de informações consistentes sobre a sua difusão globalmente. Os posicionamentos regulatórios de países relevantes na competição internacional, com pretensões em questões como autarquia tecnológica e inovação endógena, sustentam um permanente diálogo com o padrão internacional.

11. Integram a IQ de um país os organismos geradores de normas técnicas; os laboratórios de testes e ensaios; as entidades avaliadoras de conformidade; e as certificadoras.

A governança da regulação técnica para o paradigma digital se desenvolve a partir dos marcos da governança do paradigma convencional. Em certa medida, ambas acompanham parâmetros gerais da governança da globalização econômica: livre concorrência parametrizada por temas sensíveis como propriedade intelectual, segurança e soberania.

A regulação é nacional e responde a dispositivos legais, tratados e acordos internacionais dos quais o país participa. Corresponde a um arcabouço normativo de respaldo legal com a finalidade de organizar e mobilizar agentes e fatores públicos e privados para a consecução de objetivos de políticas públicas.

O desenvolvimento, a adoção e o emprego da norma técnica são de caráter voluntário, não mandatório. Poderá adquirir esse *status* se adotada em regramento oficial. A regulação, principalmente se envolve atividades econômicas e tecnológicas, como no caso das TICs, recebe um importante suporte da norma técnica.

A norma técnica é especialmente importante para a interconectividade e a interoperabilidade, funções cruciais ao paradigma tecnológico digital, viabilizando a intercomunicação entre dispositivos (efeito de rede). A consistência técnico-científica e econômica comercial da norma técnica determina seu crescente emprego na prática regulatória.

O ambiente normativo é crítico para a conectividade e a interoperabilidade entre sistemas. A tecnologia digital, aplicável a praticamente qualquer atividade, descortina aplicações que remetem à ficção científica (Zuffo, 2007). Altera-se a natureza e o significado da escala em processos decisórios de investimento, tornando problemáticas as delimitações e as análises econômicas e mercadológicas de base tecnológica convencional.

Novos modelos de negócio proliferam com as plataformas digitais. Inovações são demandadas para o cálculo e o planejamento econômico, promovendo a criação de novos negócios. A governança estatal e a empresarial se defrontam com questões éticas, como a não discriminação, a transparência, a responsabilidade, a explicabilidade, o direito à privacidade, entre outros.

A tecnologia digital demanda respostas que extrapolam as fronteiras da economia, das tecnologias e da própria ciência, mesclando campos de conhecimento entre si e com disciplinas como a ética e outras áreas da filosofia. A avaliação do risco regulatório, conforme proposto nos manuais das boas práticas regulatórias, torna-se mais complexa e de muito maior alcance. O experimentalismo em projetos inovadores passa a ser possível e recomendável.

O paradigma tecnológico digital será um facilitador ou um retardador da adoção da norma técnica internacional globalmente? É possível a evolução para

a consolidação de três polos (grandes atores) na normalização técnica – Estados Unidos, União Europeia e China –, a partir da sua previsível proeminência com base na tecnologia digital? A evolução ocorrerá favoravelmente à convergência normativa ao padrão internacional? Certamente, a tecnologia digital contribuirá para facilitar a conversibilidade linguística das normas e dos regulamentos técnicos.

A relação entre o padrão técnico e a inovação é certa, seja na esfera do paradigma tecnológico convencional, seja na esfera do digital (Šimunić e Pavić, 2020). Essa relação tem vários efeitos positivos; um dos principais é a criação de mercados, o que decorre da redução da variedade propiciada pela norma técnica (Blind, Jungmittag e Mangelsdorf, 2012). A dinâmica da inovação na esfera das TICs, frequentemente disruptiva em termos tecnológicos, impacta a estandardização, e as SDOs se multiplicam globalmente em diversos arranjos.[12]

Áreas de conhecimento associadas à tecnologia digital e potenciais demandantes de regulação são principalmente: inteligência artificial (IA), internet das coisas (*internet of things* – IoT), internet industrial das coisas (*industrial internet of things* – IIot), *blockchain*, realidade virtual, realidade estendida, computação em nuvem, gêmeos digitais (*digital twins*), cidades inteligentes, biotecnologia genética, materiais avançados, nanomateriais, neurotecnologia, supercomputadores e segurança cibernética.

O principal motivo para aplicar a transformação digital é dotar a regulação de agilidade para responder tempestivamente aos desafios e aos riscos sem obstaculizar a inovação – ao contrário, propulsionando-a. Nos casos estudados, se destacam os impactos da inovação digital nos procedimentos regulatórios, que envolvem questões como definir o que é mercado relevante, distinguir o que são serviços e o que é manufatura, identificar fronteiras administrativas nacionais e internacionais. Essas questões são trazidas pela ubiquidade do conceito de tecnologia digital e das suas aplicações.

A norma técnica é um fator contributivo à inovação digital, assim como o é o estatuto da propriedade intelectual. Este, ao restringir a reprodução de uma inovação e premiar o inventor, reservando-lhe a exclusividade na exploração, incentiva a inovação por um lado e a restringe por outro. Por sua vez, a norma

12. O Third Generation Partnership Project (3GPP) visa padronizar a criação, o envio e a reprodução de arquivos multimídia em telefones celulares e outros aparelhos sem fio baseados no Sistema Global para Comunicações Móveis (Global System for Mobile Communications 2G – GSM). O 3GPP desenvolve especificações técnicas que são desdobradas em padrões técnicos pelas entidades de estandardização regionais que integram o projeto: a Association of Radio Industries and Businesses (ARIB) e a Telecommunication Technology Committee (TTC), do Japão; a China Communications Standards Association (CCSA), da China; a Alliance for Telecommunications Industry Solutions (Atis), dos Estados Unidos; a European Telecommunications Standards Institute (Etsi), da União Europeia; a Telecommunications Standards Development Society (TSDSI), da Índia; e a Telecommunications Technology Association (TTA), da Coreia do Sul (Casaccia, 2017). O *modus operandi* do consórcio é complexo, e os padrões técnicos desenvolvidos nas organizações regionais podem ser competidores. Uma empresa localizada em mais de uma região pode competir com ela própria com base no padrão técnico.

técnica favorece a inovação ao promover a divulgação (*disclosure*) de novas tecnologias, difundir o conhecimento e criar novos mercados, favorecendo a inovação, ainda que possa restringir a diversidade.

4.1 O Grupo dos Vinte (G20) na governança digital

A reunião ministerial do G20 para a cooperação e a promoção do comércio e da economia e o aproveitamento da tecnologia digital, realizada em Tsukuba, no Japão, em 2019, constitui um marco no envolvimento desse grupo em relação ao uso do recurso digital no cenário da governança global. Participaram países representantes de acordos e associações internacionais, como a Cooperação Econômica Ásia-Pacífico (Apec) e a União Africana, de organismos internacionais como a OMC, o FMI, o Banco Mundial, a Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (United Nations Conference on Trade and Development – UNCTAD) e a OCDE.

O evento analisou a interface entre o comércio e a economia digital, e os benefícios da tecnologia digital para a sociedade e o desenvolvimento global, bem como a necessidade de responder adequadamente aos desafios associados. Do evento resultou a fundamentação e um roteiro para orientação das ações a serem desenvolvidas em bases cooperativas e com alcance global (G20, 2019). Tais orientações estariam presentes nas presidências seguintes do G20, especialmente as da Itália, em 2021, e da Indonésia, em 2022.

A ação lançada na reunião ministerial de Tsukuba ocupou a agenda do G20 durante a presidência da Itália quando, com o apoio da OCDE, foi realizada uma pesquisa (*survey*) com países sobre experimentos com métodos para prover agilidade à governança regulatória da inovação (OECD, 2021c).

Uma conferência sobre o papel da norma técnica internacional na governança global foi realizada em 28 de outubro de 2021, em Milão, também com o apoio da OCDE (G20, 2021). A conferência foi fruto de uma parceria com duas organizações de normas técnicas italianas – Ente Italiano di Normazione (UNI) e Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) – e a World Standard Cooperation (WSC – ação conjunta das três organizações de normalização técnica internacional, ISO, IEC e ITU). Outros estudos e eventos foram promovidos pelo G20 (OECD, 2021d). Em 2022, realizou-se o International Standards Summit, na Indonésia.[13]

O envolvimento do G20 e a parceria com a OCDE na temática da inovação digital, regulação e normalização técnica indicam a sua importância para a governança global da tecnologia digital. O G20 se apresenta como um ente em condições de contribuir para a constituição dessa governança, e tem contado com o apoio da OCDE para avançar no tema.

13. Disponível em: https://www.worldstandardscooperation.org/g20/.

A Chamada à Ação de Bali destaca a norma internacional (G20, 2022). Segundo o documento, com a avaliação de conformidade, a norma internacional constitui um elemento estratégico da cooperação regulatória para a recuperação global dos impactos sanitários da pandemia da covid-19. A norma internacional promove a transformação digital através de indústrias, setores e cidades, e habilita a abordagem circular focada nas pessoas, independentemente de gênero, idade e habilidades, beneficiando-as igualitariamente da tecnologia (G20, 2022).

4.2 A OCDE e o padrão digital

Na terceira década do século XXI, a governança global na economia depara-se com um cenário de desafios: redução do crescimento e da produtividade; emergência de arranjos de preferências comerciais *vis-à-vis* o multilateralismo da OMC; impactos da mudança climática; crises disruptivas, financeiras e sanitárias; conflitos geopolíticos impactantes sobre as cadeias de suprimentos; e crescente propensão à autarquia produtiva e inovativa.

A emergência do paradigma tecnológico digital acrescenta outros desafios, pelos impactos sociais que pode causar nos postos de trabalho e nos valores éticos. Ela também oferece muitas possibilidades na geração de novos postos de trabalho, de condições favoráveis ao bem-estar das pessoas e de meios de enfrentamento da crise climática.[14]

A emergência do paradigma digital impacta a governança global principalmente em três institucionalidades basilares para a estandardização:

- a estruturação em nível global dos agentes que desenvolvem e adotam os padrões técnicos e demais normas técnicas;
- a definição do papel do padrão técnico internacional para o comércio, nos termos do multilateralismo da OMC; e
- o modo como a estandardização se relaciona com os parâmetros institucionais e legais de longa data vigentes, como a propriedade intelectual.

O paradigma digital se desenvolve respaldado em um quadro de organizações, consórcios, foros e comitês bastante mais diversificado que o do paradigma convencional, especialmente considerando seu *modus operandi*.

O impacto de amplo espectro do digital no quadro normativo da OMC tem foco no padrão técnico internacional, tendo em vista o papel e a relevância desse construto para a governança do comércio internacional nos termos da atuação da OMC.

14. No ambiente normativo convencional, prevalece o entendimento de que o desenvolvimento e a adoção da norma técnica atende também ao interesse social. A velocidade e o ineditismo das inovações no paradigma digital tornam a avaliação de impactos uma tarefa complexa.

No tocante aos estatutos internacionais da propriedade intelectual, no paradigma digital a densidade de patentes incorporadas nos padrões técnicos é superior à da tecnologia convencional, o que resulta em nova área de práticas sujeitas a inúmeras particularidades, no âmbito das organizações desenvolvedoras de padrões técnicos e mesmo dos regimes jurídicos incidentes.

Dado o tempo demandado para o desenvolvimento de padrões técnicos internacionais, vista a rapidez da inovação, a tempestividade das normas técnicas e regulamentações internacionais na esfera digital é um desafio. A estandardização de tecnologias disruptivas também recebe crescente atenção dos organismos normalizadores, das empresas e dos governos, tendo em vista seu efeito sobre o poder de competição (Eom, Kim e Lee, 2016).

A ação voluntária e privada na geração da norma técnica ocorre de modo especial na solução adotada para a chamada norma técnica de patente essencial (*standard essential patent* – SEP), quando há tecnologias patenteadas incorporadas ao padrão técnico, e se adota como solução o mecanismo justo, razoável e não discriminatório (*fair, reasonable, and nondiscriminatory* – Frand) (Bekkers *et al.*, 2012). O organismo desenvolvedor da norma técnica atua no sentido de que se estabeleça um valor razoável e aceitável para os direitos de propriedade intelectual das tecnologias patenteadas envolvidas na norma técnica.[15] O procedimento é suscetível de conflitos de interesses e de ser levado às cortes de justiça. E, se a disputa envolver atores de países diversos, a definição do país de jurisdição também pode ser uma questão.

Globalmente, a institucionalidade dos sistemas geradores de padrões técnicos é relativamente independente de processos de governança internacionais (Kanevskaia, 2020).

Desde as primeiras aplicações das TICs, a OCDE buscou a compreensão do seu impacto sobre as políticas públicas, particularmente na qualidade da regulação, sua área de atuação por excelência. Nas últimas três décadas, a OCDE apresenta um crescente envolvimento e interesse pelos impactos das novas tecnologias na economia, no bem-estar das pessoas e na inovação, tendo em vista o aprimoramento dos instrumentos de política pública.[16]

---

15. O desenvolvimento e a adoção da norma técnica são realizados nas SSOs, que podem ser oficiais – reconhecidas e, possivelmente, apoiadas pelo governo – ou formadas por consórcios ou foros de empresas com base em contratos e acordos. A participação no desenvolvimento da norma é aberta e voluntária, embora a custos que podem ser elevados para pequenas empresas, e as decisões são consensuais. Essas organizações são também referidas como SDOs.

16. A OCDE desenvolve, desde o início dos anos 1990, atividades de apoio à difusão da tecnologia digital para os países-membros. Essa atividade desenvolve-se acompanhando a evolução global do paradigma digital. Nos primórdios, havia grande empenho na segurança digital, com a emissão de diretrizes de segurança digital em 1992, e as posteriores atualizações e desdobramentos. Conforme a tecnologia digital avança, a OCDE promove as inovações junto aos países-membros, por meio da cooperação regulatória com os governos. Com a emergência de áreas de especialização no escopo da transformação digital, a OCDE expande sua frente de atuação. A organização passa a atuar em assuntos mais estritamente tecnológicos, como o emprego da fibra ótica, a ciência de dados e a IA, entre outras novas tecnologias. As temáticas são aprofundadas nos termos das suas características e necessidades. No caso da IA, uma área de dinamismo recente, a OCDE procura contribuir para o lançamento de bases regulatórias em nível global. A iniciativa revela como as ações da OCDE voltadas para seus membros e para a governança global tendem a se apoiar sinergicamente.

A abordagem da temática digital pela OCDE observa os princípios das MPRs, como a transparência, a participação das partes interessadas, a avaliação de riscos e de resultados, e a cooperação entre os agentes públicos e privados, nacional e internacionalmente. Assim, a estandardização dialoga com o princípio norteador da OCDE, a promoção das boas práticas regulatórias.

A OCDE promove a cooperação entre países, e entre esses e organismos internacionais e nacionais de normalização técnica e de áreas conexas, como testes, avaliação de conformidade e certificação. A tecnologia digital e a velocidade com que a inovação ocorre no seu contexto propiciam o surgimento de novos arranjos organizacionais e institucionais, ampliando significativamente o escopo de potencial atuação da OCDE.

A constituição de estruturas de governança nacionais e internacionais, potencializadas pelo emprego da tecnologia digital, deverá contribuir para alçar a governança ao nível dos grandes desafios da transformação digital.[17] A OCDE busca e promove o desenvolvimento de critérios e referenciais para a formação de uma base conceitual de suporte à governança global digital.

Em 2020, em Paris, a OCDE realizou conferência sobre agilidade regulatória e inovação. No sumário do relatório, é recomendada a "'governança da inovação', a fim de permitir abordagens mais dinâmicas, flexíveis e tecnologicamente neutras das leis e dos regulamentos e o seu *enforcement*" (OECD, 2020a, p. 1, tradução nossa).[18]

A primeira propositura do sumário do relatório da conferência merece destaque pela convergência que apresenta com o objetivo e escopo deste trabalho:

> estender a tradicional caixa de instrumentos regulatórios para incorporar abordagens mais ágeis, como regulações baseadas em resultados ou princípios (por exemplo, regulação orientada por dados), isenções regulatórias a prazo fixo (por exemplo, *sandboxes* regulatórios), corregulação e abordagens não regulatórias, como códigos ou padrões voluntários (OECD, 2020a, p. 1, tradução nossa).[19]

A inovação de base digital, com tecnologias como as da IoT e da IA, soma-se às tecnologias para a sustentabilidade ambiental e a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. A OCDE enfatiza a transformação digital como vetor-chave

---

17. Entre essas estruturas, citem-se: no Brasil, a Lei nº 12.965/2014, conhecida como Marco Civil da Internet, e a Lei nº 13.709/2018, sobre a proteção e o tratamento de dados pessoais; na União Europeia, o Artificial Intelligence Act, proposto pelo Conselho Europeu (CE) ao Parlamento Europeu, adotado em junho de 2023; e, na OCDE, o documento *OECD Artificial Intelligence Principles* (OECD, 2019c).

18. "'*Governance Innovation', in order to allow more dynamic, flexible and technology-neutral approaches to laws and regulations and their enforcement*".

19. "*Extending the traditional regulatory toolbox by incorporating more agile regulatory approaches such as outcome-(or principle) based regulations (e.g. datadriven regulation), fixed-term regulatory exemptions (e.g. regulatory sandboxes), coregulation and non-regulatory approaches such as voluntary codes or standards*".

para a inovação e a descarbonização atmosférica, visando ao enfrentamento dos impactos das mudanças climáticas. O cenário futuro de atuação da OCDE tem como referencial essencial o paradigma da tecnologia digital. O ambiente para a inovação na atualidade – sobre o qual a incidência da normalização e a norma técnica são muito relevantes – é guiado pelos cânones da tecnologia digital.

O Conselho da OCDE, em 2021, recomenda a incorporação da transformação digital como recurso da prática regulatória, buscando elevar a qualidade da regulação, e torná-la ágil e responsiva às necessidades do desenvolvimento e da sociedade. Sinergicamente, recomenda que a inovação seja buscada como um objetivo da regulação.

A OCDE recomenda o uso da tecnologia digital na regulação, nas avaliações e nos ajustes regulatórios, a partir dos resultados de estudos que corroboram que o emprego da tecnologia digital propicia agilidade à ação regulatória na administração pública.

O interesse da OCDE na transformação digital foi impulsionado pelos estudos de caso sobre os desafios regulatórios colocados pela inovação e as respectivas respostas regulatórias (OECD e KDI, 2021). Desenvolvidas em parceria com o Korea Development Institute (KDI), da Coreia do Sul, as análises de sete estudos de caso sobre inovação digital identificam as motivações, os desafios, as vantagens e os riscos regulatórios de projetos envolvendo transformação digital.

Para minimizar riscos regulatórios, a OCDE propõe a incorporação da inovação e de elementos de política industrial às ações, com vistas a fortalecer a resiliência dos sistemas impactados ou ameaçados por crises. Para esse posicionamento contribuem a cooperação e a convergência regulatória entre os países. No contexto do processo regulatório global, a norma técnica internacional ganha importância (OECD, 2019a).

A norma técnica internacional tem sua importância para a regulação aumentada no contexto da transformação digital, para funcionalidades tecnológicas como a IoT, *big data*, IA, realidade virtual, nanotecnologia, veículo autônomo, cidades inteligentes, hidrogênio verde etc. A normalização técnica é um fator importante para a difusão tecnológica e a convergência regulatória.

Embora considerada um fator de propulsão da inovação em determinadas circunstâncias, a norma técnica pode acarretar efeito restritivo à inovação, ao reduzir a variedade. Isso ocorre à medida que a norma técnica contribui para limitar a diversidade de opções, inibindo a variedade de soluções potencialmente inovadoras. Essa possibilidade pode se somar a eventuais efeitos restritivos da presença de tecnologias sobre as quais incidem direitos intelectuais.

Para minimizar as possibilidades de riscos regulatórios associados à norma técnica, a autoridade regulatória incentiva a divulgação e a transparência na normalização técnica. Sendo as normas e os padrões técnicos gerados em SSOs, a efetividade da ação do regulador depende das características da SSO.

A posição da OCDE é convergente com os objetivos do multilateralismo da OMC, os acordos de preferências regionais, o paradigma tecnológico digital e o enfrentamento do desafio climático. Envolve o enfrentamento, em nível global, das desigualdades socioeconômicas; dos fenômenos climáticos extremos, derivados dos gases de efeito estufa (GEEs); do impacto das novas tecnologias sobre o mercado de trabalho; de crises como a financeira de 2008 e a da covid-19; e, recentemente, do conflito na Ucrânia.

Na maioria dos casos, a tecnologia digital é empregada em contextos regulatórios preexistentes, do paradigma tecnológico convencional. Assim, veículos autônomos devem atender às normas da organização e da mobilidade urbanas preexistentes, que devem ser ajustadas para atender a normativas próprias da tecnologia digital. Mas há segmentos de atividades desenvolvidas com base na tecnologia digital para as quais não existem precedentes regulatórios mais consistentes nos termos da estandardização convencional.

A IA é uma área que incorpora muito mais tecnologia digital do que outros setores de tecnologia convencional. Não apenas a estandardização da IA envolve questões éticas e sociais que demandam adequação da regulação, mas o seu próprio desenvolvimento depende da regulação, na medida em que há necessidade de respostas a questões legais.

Os desafios e o grande impacto previsto sobre a sociedade e a economia devido à aceleração da inovação tecnológica na transformação digital trazida pela emergência da IA – elementos levados em consideração pelos organismos responsáveis pela normalização técnica internacional (Zielke, 2020) – motivam o interesse da OCDE pelo envolvimento profundo com as questões da estandardização digital (OECD, 2019b).

O posicionamento e a atuação da OCDE no tema da IA estão contidos no documento *Recommendation of the Council on Artificial Intelligence* (OECD, 2019b). Ali está disposta a visão da OCDE sobre as bases científicas, tecnológicas e éticas compatíveis com o desenvolvimento e sobre os possíveis impactos da IA na sociedade.

O interesse da OCDE pela estandardização da IA se expressa em duas iniciativas: o observatório de políticas de IA (Policy Observatory OECD.AI) e o projeto de desenvolvimento do marco conceitual para políticas de IA (The OECD Framework for the Classification of AI Systems). O marco conceitual (*framework*)

proporcionará aos formuladores de políticas, reguladores, legisladores e sociedade em geral meios para caracterizar sistemas de IA para projetos e contextos específicos (OECD, 2022d). O marco conceitual também relaciona o sistema de IA aos princípios de IA da OCDE (OECD, 2019c).

O interesse da OCDE pelo tema da IA também se expressa no primeiro conjunto de padrões que os governos, no âmbito da OCDE, assumiram observar na formulação de políticas e na promoção do uso confiável e inovador da IA (OECD, 2019b).

No âmbito das tecnologias convencionais, a esfera regulatória demanda subsídios e suporte das instâncias de estandardização. A dependência no sentido inverso também existe, mas o âmbito técnico-normativo é relativamente menos dependente do âmbito regulador. A relação entre o âmbito regulatório e o técnico-normativo (Egyedi, Widlak e Ortt, 2018)[20] é afetada pela emergência do paradigma digital, pois a transformação digital impacta o modo de vida e o comportamento das pessoas. Respostas a tais questões devem provir do âmbito das leis e se desdobrar em regulamentos a serem considerados no âmbito técnico-normativo, desafio que as sociedades estão apenas começando a enfrentar.[21]

A OCDE se insere nesse cenário intensificando esforços para os desenvolvimentos atinentes à regulação, e retroalimentando o âmbito técnico-normativo também em desenvolvimento. As respostas nas instâncias legais e regulatórias, mediante marcos legais – os quais, na hierarquia das leis, são superiores às normativas técnicas –, serão, em alguma medida, sustentadas por essas normas técnicas e propiciarão o seu desenvolvimento. Opções oferecidas pela OCDE para o desenvolvimento do padrão técnico internacional para o paradigma digital, observando-se as questões éticas e os impactos sociais, assegurarão o desenvolvimento inclusivo e sustentável.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS – PROPOSIÇÃO DE POLÍTICAS

A emergência das tecnologias do paradigma digital traz riscos e oportunidades. Novos instrumentos de políticas públicas são necessários e oportunizados, em temáticas desafiadoras como a sustentabilidade ambiental, ameaçada por fenômenos climáticos extremos; o aumento da produtividade; a inclusão de populações nos benefícios do desenvolvimento; a resiliência a crises financeiras, sanitárias e climáticas, e mesmo a conflitos geopolíticos; entre outras.

20. A distinção e a simbiose entre, de um lado, o âmbito regulatório legal e mandatório e, de outro, o âmbito normativo técnico, voluntário e consensual devem ser analisadas em profundidade, global e nacionalmente.

21. Entre as iniciativas legislativas em tramitação ou empreendidas recentemente no mundo, cite-se o já referido Artificial Intelligence Act da União Europeia; o Projeto de Lei (PL) nº 21/2021, da Câmara dos Deputados do Brasil; o PL nº 2.338/2023, do Senado Federal do Brasil; e o Blueprint for an AI Bill of Rights estadunidense.

Transformações no cenário global ocorrem em velocidade, requerendo agilidade e tempestividade nas respostas das políticas, para aproveitar as oportunidades e para evitar que riscos se materializem e se difundam. As respostas que a OCDE oferece aos desafios globais relacionam-se aos princípios das boas práticas regulatórias, agregando os recursos da inovação digital. Aspectos e instrumentos específicos, típicos de política industrial, podem ser aproveitados.

Os documentos, os estudos e as pesquisas produzidos pela OCDE sobre política regulatória, política industrial e inovação refletem a evolução das posições da organização e o seu crescente interesse pelo adequado aproveitamento dos recursos oferecidos pela transformação digital. As iniciativas da OCDE revelam seu interesse no aprimoramento da regulação e na estandardização do paradigma tecnológico digital, a partir das transformações que este impõe à governança global.

Os primeiros estudos da OCDE refletem o interesse da organização na incorporação da inovação digital à regulação, tendo por objetivo aumentar a resiliência (Linkov, 2017), o desenvolvimento inclusivo e a sustentabilidade ambiental. Os estudos aprofundam o interesse nos desafios que a tecnologia digital traz para a regulação, ao diluir ("borrar") as fronteiras entre espaços geográficos de países, e entre conceitos analíticos, setores de atividades e áreas do conhecimento.

A OCDE recomenda agilidade regulatória, avaliação de risco, testes regulatórios, avaliação *ex ante* e *ex post*, ajustes em tempo real e maior envolvimento das partes interessadas. Os desafios, as ameaças e as oportunidades requerem respostas regulatórias rápidas. As melhores práticas e procedimentos de políticas de inovação e industrial da OCDE se aproveitam das experiências de países[22] e constituem marcos e referências (*framework* e *benchmarking*) para os países-membros da OCDE e os demais (OECD e KDI, 2021). O estudo sobre a Alemanha divulgado em 2022 (OECD, 2022b) é um referencial de posicionamentos em face dos desafios de competitividade atuais. Fundamentado em amplo levantamento de dados, oferece proposições detalhadas para o fortalecimento do sistema de inovação.

Destaca-se, do estudo sobre a Alemanha, a necessidade de políticas ágeis e de experimentos para superar as vulnerabilidades e manter sua indústria competitiva, e a proposição de que a Alemanha desempenhe um papel propulsor da expressão internacional europeia na normalização, nas normas técnicas e na transformação digital (OECD, 2022b).

Recomenda a OCDE que a IQ, compreendendo padrões e normas técnicas, testes, certificações e avaliação de conformidade, seja digitalizada, modernizada e

22. A OCDE realiza, desde 2013, revisões das políticas de inovação de dezenove países e de uma região (o Sudeste da Ásia). A revisão da política de inovação da Alemanha adota o conceito de agilidade regulatória ("*agile regulation*" ou "*building agility for successful transitions*" e "*achieve the digital and green transitions*") (OECD, 2022b).

usada estrategicamente, alçando a Alemanha à posição de desenvolvedor de normas (*ruller setting)* e definidor de normas (*ruller maker*), fortalecendo a liderança europeia internacionalmente na estandardização e na inovação. Para isso, considera necessária a modernização e a digitalização da IQ (OECD, 2022b, p. 185).[23]

Os trabalhos elaborados e promovidos pela OCDE sobre regulação e políticas de desenvolvimento com centralidade na transformação digital são de interesse para a governança global e para os países individualmente, na medida em que oferecem cenários escrutinizados e analíticos abrangentes e bastante completos, em relação aos quais se podem desenvolver análises e políticas individualizadas ou em blocos e arranjos entre países, a partir dos desafios e oportunidades que poderão surgir com a evolução da digitalização em nível global. Esses arranjos podem ser nos moldes das novas SSOs, ou seja, com finalidades e interesses específicos, dispensando exclusividades e formalidades, e dotadas de agilidade.

A OCDE enfatiza a necessidade da inovação para aprimorar e agilizar a regulação, e o apoio da regulação para promover a inovação. A ubiquidade da tecnologia digital deve ser utilizada como um ativo na regulação. A incorporação desses novos princípios trazidos pelo digital, na norma técnica internacional, é um grande desafio e também um elemento central para perenizar sua relevância em nível global.

O emprego da norma técnica internacional conta com o respaldo das organizações do multilateralismo, como a ONU e a OMC, e das organizações normalizadoras internacionais. Os países líderes em desenvolvimento industrial apoiam as iniciativas de internacionalização da norma técnica, participando dos foros em que elas são desenvolvidas e adotadas. Aparentemente, o apoio dos países industrializados à norma técnica internacional prioriza situações em que o problema e a respectiva solução são globais, como as questões das mudanças climáticas, em que cooperação é mais importante que a competição.

Na tecnologia digital, a interconectividade é um imperativo global, mas passível de controle ou de reservas, como no caso do alegado interesse nacional. O surgimento de alternativas à norma técnica internacional parece ser algo improvável. Entretanto, talvez tampouco não seja expectável uma propensão de alguns atores à adoção de um padrão técnico nacional.

---

23. Destacam-se os seguintes trechos do estudo para a Alemanha: "em um mundo de maior intensidade digital e maior grau de interconectividade e interoperabilidade entre produtos, serviços e setores, o desenvolvimento de normas técnicas é mais complicado" (OECD, 2022b, p. 185, tradução nossa); "a infraestrutura da qualidade tem um componente internacional implícito, na medida em que apoia o livre-comércio, vital para a economia alemã orientada a exportação (OECD, 2022b, p. 37, tradução nossa)"; e "a cooperação internacional tende a ter um alto grau de direcionalidade particularmente no suporte a tecnologias habilitadoras chave (como os semicondutores, hidrogênio e baterias) e infraestrutura de dados" (OECD, 2022b, p. 36, tradução nossa).

As respostas às questões suscitadas quanto ao papel da OCDE no futuro da norma técnica na governança global devem considerar os fatores listados a seguir.

1) A OCDE já ocupa um espaço importante como formulador de posicionamentos em relação ao futuro da governança global na digitalização, com o respaldo tácito dos países europeus, dos Estados Unidos e genericamente dos países-membros da organização.

2) Ao posicionar-se como um foro global para questões relativas ao paradigma digital, o G20 converge com o posicionamento geral da OCDE, mas oferece novas possibilidades, por atuar em um cenário diferenciado, na medida em que inclui países relevantes que não estão na OCDE.

3) Em termos normativos, o paradigma digital dialoga com a regulação, legalmente mandatória, e com a normalização técnica, de caráter eminentemente técnico-científico e voluntário. Para a OCDE, a regulamentação e a normalização técnica estão no âmbito da governança global e convergem na norma técnica, na regulação e na cooperação internacional.

4) A OCDE apoia a norma técnica internacional ao estabelecer parcerias com a OMC e as três organizações internacionais de estandardização. Porém, o posicionamento dos três grandes atores internacionais – União Europeia, Estados Unidos e China – na normalização global em relação à norma técnica internacional é diferenciada (Tironi, 2022).

Cabe aos governos e às sociedades desenvolver esforços para assegurar o alcance dos melhores resultados da transformação digital. Esse resultado poderá ser alcançado por meio de um processo que contemple a convergência com a experiência global. Mais que em qualquer outra etapa, o desenvolvimento nacional depende da cooperação internacional.

A transformação digital deve ter como meta o bem-estar das pessoas e o desenvolvimento econômico. Políticas públicas, regulamentações e incentivos devem ser orientados para garantir que o paradigma digital traga agilidade e eficiência à ação governamental, assim como inovação e competitividade à economia. Nesse sentido, a regulamentação técnica e a estandardização são duas faces do mesmo esforço.

Os posicionamentos da OCDE devem ser avaliados juntamente com os de outros organismos internacionais e dos demais países, para que se estabeleçam as estratégias de enfrentamento dos desafios globais que afetam a todos os países, sociedades e governos.

Por fim, propomos que a estratégia brasileira de inserção internacional, a partir da consolidação da relação entre regulação e normalização técnica, tenha como prioridades:

- a participação nas iniciativas da OCDE e de organizações internacionais da governança global nos temas da regulação técnica, das normas técnicas e correlatos;
- o desenvolvimento e a incorporação dos recursos da transformação digital na ação governamental, nas políticas públicas, na regulação e na normalização técnica; e
- o aumento da presença da norma técnica internacional nos instrumentos regulatórios brasileiros e nos acordos internacionais dos quais o país participe.

REFERÊNCIAS

ARIMA JÚNIOR, M. K. **A Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) como ator chave da governança global**: aspectos gerais da organização e processo de acessão do Brasil. Jus Navigandi, Teresina, ano 25, n. 6.316, 16 out. 2020. Disponível em: https://jus.com.br/artigos/86050.

BEKKERS, R. *et al*. **Intellectual property disclosure in standards development**. Tucson: NBER, Jan. 2012. (Paper prepared for the NBER Conference on Standards, Patents & Innovation). Disponível em: https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/57882512/903894212481543.pdf.

BLIND, K.; JUNGMITTAG, A.; MANGELSDORF, A. **The economic benefits of standardization**: an update of the study carried out by DIN in 2000. Berlin: DIN, 2012.

CASACCIA, L. **Understanding 3GPP**: starting with the basics. OnQ Blog, 1st Aug. 2017. Disponível em: https://www.qualcomm.com/news/onq/2017/08/understanding-3gpp-starting-basics.

EGYEDI, T.; WIDLAK, A.; ORTT, J. R. Distinguishing standards and regulation for innovation research: accommodating standards in lessig's framework of regulatory modalities. **International Journal of Standardization Research**, v. 16, n. 2, p. 1-21, July-Dec. 2018.

EOM, D. y.; KIM, D.-H.; LEE, H. A Delphi study of standardization strategies for disruptive technologies. **Journal of Korea Technology Innovation Society**, v. 19, n. 3, p. 483-510, 2016. Disponível em: https://eprints.gla.ac.uk/154261.

FORESTI, F.; GREGORIO, V.; VIEIRA, A. F. G. Ubiquidade e ciência da informação. **Revista Ibero Americana da Ciência da Informação**, v. 12, n. 1, p. 191-216, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.26512/rici.v12.n1.2019.19106.

G20 – GROUP OF 20. **G20 ministerial statement on trade and digital economy**. Tsukuba: G20, 9 June 2019. Disponível em: https://www.g20.org/content/dam/gtwenty/about_g20/previous_summit_documents/2019/Ministerial_Statement_on_Trade_and_Digital_Economy.pdf.

_____. **The International Standards Summit for People, Planet and Prosperity**: G20 Standardization Organizations Contributing to Sustainability Goals. Milão: G20, 28 out. 2021. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=FX6ZoZuSYSM&list=PLz5a5vgXnYNEG7Z2CtPk_nTTCr7BGsMFT&index=5.

_____. **G20 International Standards Summit**: call to action. Bali: G20, Oct. 2022. Disponível em: https://www.worldstandardscooperation.org/wp-content/uploads/2022/10/IEC_ISO_ITU_Call_to_Action.pdf.

KANEVSKAIA, O. Governance of ICT standardization: due process in technocratic decision-making. **North Carolina Journal of International Law**, v. 45, n. 3, p. 549-618, 2020. Disponível em: https://scholarship.law.unc.edu/ncilj/vol45/iss3/2.

LINKOV, I. **Resilience within OECD directorates**: state of the practice and future needs. Paris: OECD, 2017. (White Paper). Disponível em: https://www.oecd.org/naec/OECD_Resilience_White_Paper.pdf. Acesso em: 13 mar. 2023.

MELILLO, M. Standards of scientific evidence in preferential trade agréments. **Journal of International Economic Law**, v. 25, n. 3, p. 369-389, Sept. 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1093/jiel/jgac014.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Recommendation of the Council on improving the quality of government regulation**. Paris: OECD, 1995. Disponível em: https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0278.

_____. **Guiding principles for regulatory quality and performance**. Paris: OECD, 2005. Disponível em: https://www.oecd.org/fr/reformereg/34976533.pdf.

_____. **Recommendation of the Council on regulatory policy and governance**. Paris: OECD, 2012. Disponível em: https://www.oecd.org/gov/regulatory-policy/49990817.pdf.

_____. **International regulatory co-operation**: the role of international organisations in fostering better rules of globalization. Paris: OECD, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1787/9789264244047-en. Acesso em: 13 mar. 2323.

_____. **Regulatory effectiveness in the era of digitalization**: better policys for better life. Paris: OECD, 2019a. Disponível em: https://www.oecd.org/gov/regulatory-policy/Regulatory-effectiveness-inthe-era-of-digitalisation.pdf. Acesso em: 13 mar. 2023.

_____. **Recommendation of the Council on artificial intelligence**. Paris: OECD, 2019b. Disponível em: https://oecd.ai/en/assets/files/OECD-LEGAL-0449-en.pdf. Acesso em: 13 mar. 2023.

_____. **The OECD artificial intelligence principles**. Paris: OECD, 2019c. Disponível em: https://oecd.ai/en/ai-principles. Acesso em: 13 mar. 2023.

_____. **Global conference on governance innovation**: towards agile regulatory frameworks in the fourth industrial revolution. Paris: OECD, 2020a. (Summary record). Disponível em: https://www.oecd.org/gov/regulatory-policy/global-conference-on-governance-innovation-summary-record-2020.pdf. Acesso em: 13 mar. 2023.

_____. **Beyond growth**: towards a new economic approach, new approaches to economic challenges. Paris: OECD, 2020b. Disponível em: https://doi.org/10.1787/33a25ba3-en. Acesso em: 13 mar. 2023.

_____. **International regulatory cooperation**. Paris: OECD, 2021a. Disponível em: https://www.oecd.org/gov/regulatory-policy/international-regulatory-co-operation-5b28b589-en.htm. Acesso em: 13 mar. 2023.

_____. **Recommendation of the Council for agile regulatory governance to harness innovation**. Paris: OECD, 2021b. Disponível em: https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0464. Acesso em: 13 mar. 2023.

_____. **G20 survey on agile approaches to the regulatory governance of innovation**: report for the G20 digital economy task force. Paris: OECD, 2021c. Disponível em: https://www.oecd.org/governance/g20-survey-on-agile-approaches-to-the-regulatory-governance-of-innovation-f161916d-en.htm. Acesso em: 13 mar. 2023.

_____. **G20 compendium on the use of digital tools for public service continuity**: report for the G20 digital economy task force. Paris: OECD, 2021d. Disponível em: https://read.oecd-ilibrary.org/governance/g20-compendium-on-the-use-of-digital-tools-for-public-service-continuity_6f800fd5-en#page1. Acesso em: 13 mar. 2023.

_____. **Recommendation of the Council on digital security risk management**. Paris: OECD, 2022a. (OECD Legal Instruments, n. 0479). Disponível em: https://legalinstruments.oecd.org/em/instruments/oecd-legal-0479#main%20text.

_____. **Reviews of innovation policy**: Germany 2022 – building agility for successful transition. Paris: OECD, 2022b. Disponível em: https://doi.org/10.1787/19934211. Acesso em: 13 mar. 2023.

_____. **Are industrial policy instruments effective?** A review of the evidence in OECD countries. Paris: OECD, 2022c. Disponível em: https://www.oecd.org/sti/ind/are-industrial-policy-instruments-effective-57b3dae2-en.htm. Acesso em: 13 mar. 2023.

_____. **OECD framework for the classification of AI systems**. Paris: OECD, 2022d. Disponível em: https://oecd.ai/en/classification. Acesso em: 13 mar. 2023.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT; KDI – KOREA DEVELOPMENT INSTITUTE. **Case studies on the regulatory challenges raised by innovation and the regulatory responses**. Paris: OECD; KDI, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1787/8fa190b5-en.

PARKER, D.; KIRKPATRICK, C. **Measuring regulatory performance**: the economic impact of regulatory policy – a literature review of quantitative evidence. Paris: OECD, Aug. 2012. (Expert Paper, n. 3). Disponível em: https://www.oecd.org/gov/regulatorypolicy/3_kirkpatrick%20parker%20web.pdf. Acesso em: 13 mar. 2023.

ŠIMUNIĆ, D.; PAVIĆ I., **Standards and innovations in information technology and communications**. Cham: Springer, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-44417-4.

TIRONI, L. F. Infraestrutura da qualidade normas técnicas e normalização. **Radar**: tecnologia, produção e comércio exterior, v. 47, p. 49-56, 2016.

_____. **Política pública, regulamentação e norma técnica e inserção internacional**. Rio de Janeiro: Ipea, ago. 2019. (Nota Técnica, n. 15).

_____. Normalização técnica: o modelo chinês. **Boletim de Economia e Política Internacional**, v. 31, p. 39-50, 2022.

WEITHMANN, S. Standardization in China: electric vehicle technology as driver for change in China's automotive standardization. **International Journal of Standardization Research**, v. 14, n. 2, p. 20-32, July-Dec. 2016.

ZIELKE, T. Is artificial intelligence ready for standardization? *In*: YILMAZ, M. *et al*. (Ed.). **Systems, software and services process improvement**: EuroSPI 2020 – communications in computer and information science. Cham: Springer, 2020. v. 1251. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-56441-4_19.

ZUFFO, J. A. **Flagrantes da vida no futuro**. São Paulo: Saraiva, 2007.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **A industrial policy framework for OECD countries**: old debates, new perspectives. Paris: OECD, 2022. Disponível em: https://www.oecd.org/industry/an-industrial-policy-framework-for-oecd-countries-0002217c-en.htm. Acesso em: 13 mar. 2023.

TIRONI, L. F. Harmonização de regulamentos e normas técnicas no Mercosul. **Revista Tempo no Mundo**, v. 23, p. 235-254, 2020.

NOTAS BIOGRÁFICAS

Ana Paula Macedo de Avellar

Bolsista do Subprograma de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais, de Inovação, Regulação e Infraestrutura do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Diset/Ipea) e professora titular do Instituto de Economia e Relações Internacionais da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

André Tortato Rauen

Assessor especial da presidência da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI).

Anna Carolina M. L. Ribeiro

Técnica de desenvolvimento e administração e coordenadora-geral de gestão de pessoas do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (CGPES/Ipea).

Carlos Denner dos Santos Junior

Professor associado do Departamento de Administração e do Programa de Pós-Graduação da Universidade de Brasília (PPGA/UnB).

Eduardo Toshiro Fujito

Auditor federal de finanças e controle na Controladoria-Geral da União (CGU).

Emilio Tissato Nakamura

Diretor-adjunto de cibersegurança da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP).

Fernando André Coelho Mitkiewicz

Superintendente de Tecnologia da Informação (STI) da Agência Nacional de Aviação Civil (Anac) e ex-secretário de governo digital.

Leonardo Costa Ribeiro

Professor e pesquisador no Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Universidade Federal de Minas Gerais (Cedeplar/UFMG).

Luis Claudio Kubota

Técnico de planejamento e pesquisa na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais, de Inovação, Regulação e Infraestrutura do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Diset/Ipea).

Luís Fernando Tironi

Bolsista do Subprograma de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais, de Inovação, Regulação e Infraestrutura do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Diset/Ipea).

Marcos Candido de Paula Rezende

Auditor federal de finanças e controle na Controladoria-Geral da União (CGU).

Maurício Benedeti Rosa

Bolsista do Subprograma de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais, de Inovação, Regulação e Infraestrutura do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Diset/Ipea).

Pedro Cavalcanti G. Ferreira

Técnico de desenvolvimento e administração na Coordenação de Ciência de Dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (COCD/Ipea).

Robert Spadinger

Consultor sênior para o setor de telecomunicações na Capgemini e consultor do Programa de Cooperação entre a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) e o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea).

Tulio Chiarini

Analista em ciência e tecnologia no Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (CTS/Ipea).

Victo José da Silva Neto

Pós-doutorando no Interdisciplinary Research Hub on Digitalization and Society (iHub) da Radboud University.

Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

EDITORIAL

Coordenação
Aeromilson Trajano de Mesquita

Assistentes da Coordenação
Rafael Augusto Ferreira Cardoso
Samuel Elias de Souza

Supervisão
Aline Cristine Torres da Silva Martins

Revisão
Bruna Neves de Souza da Cruz
Bruna Oliveira Ranquine da Rocha
Carlos Eduardo Gonçalves de Melo
Crislayne Andrade de Araújo
Elaine Oliveira Couto
Luciana Bastos Dias
Rebeca Raimundo Cardoso dos Santos
Vivian Barros Volotão Santos
Deborah Baldino Marte (estagiária)
Maria Eduarda Mendes Laguardia (estagiária)

Editoração
Aline Cristine Torres da Silva Martins
Leonardo Simão Lago Alvite
Matheus Manhoni de Paula Alves
Mayara Barros da Mota

Capa
Mayara Barros da Mota

Imagens da capa
Depositphotos

The manuscripts in languages other than Portuguese published herein have not been proofread.

Composto em adobe garamond pro 11/13,2 (texto)
Frutiger 67 bold condensed (títulos, gráficos e tabelas)
Rio de Janeiro-RJ

Logotipo/slogan de governo removido em observancia ao disposto no art. 40 da Lei n 9.504/1997

Missão do Ipea

Aprimorar as políticas públicas essenciais ao desenvolvimento brasileiro por meio da produção e disseminação de conhecimentos e da assessoria ao Estado nas suas decisões estratégicas.

ISBN: 978-65-5635-066-0

Nações Unidas
CEPAL

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO