

Aurum
EDITORA

O FUTURO EM CONSTRUÇÃO

Inovação, Sustentabilidade e Transformação
nas Cidades, nas Profissões e na Sociedade



JOELSON LOPES DA PAIXÃO
JOSÉ DOUGLAS FERREIRA NOBRE
FERNANDO DANDARO
WIRNA MARIA ALVES DA SILVA
FILIPE DA CUNHA GOMES
ADONIS ROGÉRIO FRACARO
CHARLES RANGEL DE DEUS VIEIRA
MARCOS AURÉLIO VIANA LIMA
RODRIGO JOSÉ LEITE CAVALCANTE

Aurum
EDITORA

O FUTURO EM CONSTRUÇÃO

Inovação, Sustentabilidade e Transformação
nas Cidades, nas Profissões e na Sociedade



JOELSON LOPES DA PAIXÃO
JOSÉ DOUGLAS FERREIRA NOBRE
FERNANDO DANDARO
WIRNA MARIA ALVES DA SILVA
FILIPE DA CUNHA GOMES
ADONIS ROGÉRIO FRACARO
CHARLES RANGEL DE DEUS VIEIRA
MARCOS AURÉLIO VIANA LIMA
RODRIGO JOSÉ LEITE CAVALCANTE

AURUM EDITORA LTDA – 2026

Curitiba – Paraná - Brasil

EDITOR CHEFE

Lucas Gabriel Vieira Ewers

ORGANIZADORES DO LIVRO

Joelson Lopes da Paixão

José Douglas Ferreira Nobre

Fernando Dandaro

Wirna Maria Alves da Silva

Filipe da Cunha Gomes

Adonis Rogério Fracaro

Charles Rangel de Deus Vieira

Marcos Aurélio Viana Lima

Rodrigo José Leite Cavalcante

Copyright © Aurum Editora Ltda

Texto Copyright © 2026 Os Autores

Edição Copyright © 2026 Aurum Editora
Ltda

EDIÇÃO DE TEXTO

Stefanie Vitoria Garcia de Bastos



Este trabalho está licenciado sob uma
licença Creative Commons Attribution-
NonCommercial-NoDerivatives
4.0 International License.

EDIÇÃO DE ARTE

Aurum Editora Ltda

IMAGENS DA CAPA

Magnific Team, Canva.

BIBLIOTECÁRIA

Bruna Heller

ÁREA DE CONHECIMENTO

Ciências da Educação

A responsabilidade pelo conteúdo, precisão e veracidade dos dados apresentados neste texto é inteiramente do autor, não refletindo necessariamente a posição oficial da Editora. O trabalho pode ser baixado e compartilhado, desde que o crédito seja dado ao autor, mas não é permitida a modificação do conteúdo de qualquer forma ou seu uso para fins comerciais.

A Aurum Editora se compromete a manter a integridade editorial em todas as fases do processo de publicação, prevenindo plágio, dados ou resultados fraudulentos, e assegurando que interesses financeiros não afetem os padrões éticos da publicação. Qualquer suspeita de má conduta científica será verificada com atenção aos princípios éticos e acadêmicos. Todos os manuscritos passaram por uma avaliação duplo-cega, realizada pelos membros do Conselho Editorial, e foram aprovados para publicação com base em critérios de imparcialidade e objetividade acadêmica.

CORPO EDITORIAL

Adicélia Rodrigues Souza - Graduada em Letras pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Adriano Rosa da Silva - Mestre em História Social pela Universidade Federal Fluminense.

Alessandro Sathler Leal da Silva - Doutor em Educação pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Alex Lourenço dos Santos - Doutorando em Geografia pela Universidade Federal de Catalão.

Aline Borba Alves - Mestra em Educação pela Universidade Estadual do Maranhão.

Amanda Pereira Moreira - Mestra em Letras pela Universidade Federal de Lavras.

Antonio Ismael Lopes de Sousa - Doutorando em Linguística e Literatura pela Universidade Federal do Norte do Tocantins.

Ayla de Jesus Moura - Mestra em Educação Física pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.

Bárbara Silvestre da Silva Pereira - Doutoranda em Enfermagem e Biociências pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro.

Bianca Martins Knap - Mestranda em Direito Econômico e Desenvolvimento pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

Camila Aparecida da Silva Albach - Doutoranda em Ciências Sociais Aplicadas pela Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Carina Mandler Schmidmeier - Mestranda em Direito pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

Carlos Adriano Martins - Doutor em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Cruzeiro do Sul.

Carolline Nunes Lopes - Mestra em Psicologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Cláudio Alberto de Sá Quirino - Mestre profissional em Administração Pública (PROFIAP) pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.

Damião Evangelista Rocha - Doutorando em Saúde e Desenvolvimento Humano pela Universidade La Salle - Canoas.

Daniel da Rocha Silva - Mestre em Letras pela Universidade Federal de Sergipe.

Daniel Rodrigues de Lima - Mestre em História pela Universidade Federal do Amazonas.

Diego Emanuel Veis Bentancourt - Mestre em Educação pela Universidade Federal de Santa Maria.

Diego Pinto de Oliveira - Mestre em Ciências Farmacêuticas pela Universidade Federal de Alfenas.

Elberto Teles Ribeiro - Mestrando em Geografia pela Universidade Federal da Grande Dourados.



Equiton Lorengian Grégio - Mestrando em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal da Fronteira Sul.

Evaldo Batista Mariano Júnior - Doutorando em Educação pela Universidade de Uberaba.

Fábio Henrique de Souza Lacerda - Mestre em Educação pela Universidade do Estado de Mato Grosso.

Fabio José Antonio da Silva - Doutor em Educação Física pela Universidade Estadual de Londrina.

Fabricio do Nascimento Moreira - Doutorando em Administração pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Felipe Antônio da Silva - Graduado em Direito pelo Centro Universitário Unihorizontes.

Flávia Maria Silva Brito - Doutora em Recursos Florestais pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

Flávio Roberto Chaddad - Mestre em Educação Escolar pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

Francisco Samuel Laurindo de Lima - Graduado em Licenciatura em Pedagogia pela Universidade Estadual do Ceará.

Francisco Welton Machado - Editor Independente - Graduado em Geografia pela Universidade Estadual do Piauí.

Gabriella de Moraes - Doutora em Direito pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Gleyson Martins Magalhães Reymão - Mestre Profissional em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação pelo Instituto Federal do Pará.

Glicerinaldo de Sousa Gomes - Doutorando em Educação pela Universidade Federal da Paraíba.

Gustavo Boni Minetto - Mestrando em Educação, Linguagens e Tecnologia pela Universidade Estadual de Goiás.

Gutemberg Rapôso da Silva Ferreira - Mestre em Linguística pela Universidade Federal do Tocantins de Porto Nacional.

João Vitor Silva Almeida - Graduado em Gestão de Cooperativas pela Universidade Federal do Tocantins.

Joelson Lopes da Paixão - Doutorando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria.

Joice Marisa Görgen Junqueira - Mestranda em Educação pela Universidade La Salle - Canoas.

José Bruno Martins Leão - Doutor em Sistema Constitucional de Garantia de Direitos pela Instituição Toledo de Ensino.

José Carlos dos Santos Silva - Mestrando em Educação Física pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.



José Cláudio da Silva Júnior - Mestrando em Ciências da Saúde pela Universidade de Pernambuco.

José Henrique Rodrigues Machado - Doutor em Ciências Sociais - Programa de Performances Culturais, pela Universidade Federal de Goiás.

José Leonardo Diniz de Melo Santos - Mestre em Educação, Culturas e Identidades pela Universidade Federal Rural de Pernambuco.

José Marciel Araújo Porcino - Graduado em Pedagogia pela Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Brasil.

José Neto de Oliveira Felipe - Doutorando em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade de Passo Fundo.

José Ronaldo de Freitas Machado - Mestre em Educação pela Universidade de Uberaba.

Jungley de Oliveira Torres Neto - Doutor em Ciência da Religião pela Universidade Federal de Juiz de Fora.

Karyne Oliveira Coelho - Doutora em Ciência Animal pela Universidade Federal de Goiás.

Layse da Silva Vieira - Mestranda em Vigilância em Saúde pela Universidade Iguazu.

Lidiana da Cruz Pereira - Doutora em Educação pela Universidade do Vale do Itajaí.

Lidiane Álvares Mendes - Doutoranda em Estudos de Cultura Contemporânea pela Universidade Federal de Mato Grosso.

Luan Brenner da Costa - Editor Independente - Graduado em Enfermagem pela Fundação Herminio Ometto.

Lucas Matheus Araujo Bicalho - Mestrando em Historia pela Universidade Estadual de Montes Claros, UNIMONTES, Brasil.

Lucia Helena Santana Ferreira - Doutoranda em Direito pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Luciano Victor da Silva Santos - Mestrando em Hotelaria e Turismo pela Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Brasil.

Luzia Eleonora Rohr Balaj - Doutoranda em Música pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro.

Magno Fernando Almeida Nazaré - Mestre em Educação Profissional e Tecnológica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão.

Maiara Martins Doná - Mestra em Educação pela Universidade de Sorocaba.

Maickon Willian de Freitas - Mestre em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.



Maikon Luiz Mirkoski - Mestre Profissional em Matemática em Rede Nacional pela Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Mailson Moreira dos Santos Gama - Doutorando em História pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Marcelo Bustamante Chilingue - Doutorando em Informática na Educação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Marcelo Carvalho da Conceição - Doutor em Biologia Estrutural e Funcional pela Universidade Federal de São Paulo.

Marcos Scarpioni - Doutorando em Ciência da Religião pela Universidade Federal de Juiz de Fora.

Maria da Luz Olegário - Doutora em Educação pela Universidade Federal da Paraíba.

Maria Nazaré Lopes Baracho - Doutoranda em Odontologia pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Campus JK.

Marilha da Silva Bastos - Mestranda em Educação Brasileira pela Universidade Federal do Ceará.

Marinely Aparecida Clemente - Mestra em Direito pela Universidade do Oeste de Santa Catarina.

Mario Marcos Lopes - Doutorando em Educação pela Universidade Federal de São Carlos.

Marlon Messias Santana Cruz - Doutor em Memória: Linguagem e Sociedade pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

Michael Douglas Alves dos Santos - Mestrando em Educação, Cultura e Territórios Semiáridos pela Universidade do Estado da Bahia.

Mirna Liz da Cruz - Editora Independente - Graduada em Odontologia pela Universidade Federal de Goiás.

Natan Gomes dos Santos - Graduado em Biomedicina pela Faculdade Madre Thais.

Newton Ataíde Meira - Mestrando em Desenvolvimento Social pela Universidade Estadual de Montes Claros.

Plinio da Silva Andrade - Mestrando em Ciências da Educação pela Universidade Leonardo Da Vinci.

Rafael José Kraisch - Doutorando em Neurociências pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Romário Silva Ribeiro - Doutorando em Educação pela Christian Business School.

Ryan Dutra Rodrigues - Editor Independente - Graduado em Psicologia pelo Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas.

Samuel Francisco Rabelo - Doutorando em Direitos Humanos pela Universidade Tiradentes.

Sebastião Lacerda de Lima Filho - Doutorando em Medicina Translacional pela Universidade Federal do Ceará.



Silvana Maria Aparecida Viana Santos - Mestra em Tecnologias Emergentes em Educação pela MUST University.

Silvio de Almeida Junior - Doutor em Promoção de Saúde pela Universidade de Franca.

Stefany Reis Marquioli - Mestra em História Social pela Universidade Estadual de Montes Claros.

Suely Maria da Silva - Mestra em Gestão Pública Para o Desenvolvimento do Nordeste pela Universidade Federal de Pernambuco.

Swelen Freitas Gabarron Peralta - Doutoranda em Educação pela Universidade Tuiuti do Paraná.

Talita Benedcta Santos Künast - Doutoranda em Biodiversidade e Biotecnologia pela Universidade Federal de Mato Grosso.

Tályta Carine da Silva Saraiva - Mestra em Agronomia pela Universidade Federal do Piauí.

Thiago Silva Prado - Doutor em Educação pela Universidade Estadual de Maringá.

Vinicius Valim Pereira - Doutor em Zootecnia pela Universidade Estadual de Maringá, UEM, Brasil.

Wilson Moura - Doutor em Psicologia pela Christian Business School.

Yohans de Oliveira Esteves - Doutor em Psicologia pela Universidade Salgado de Oliveira.

Zaqueu Henrique de Souza - Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Jataí.



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F949

O Futuro em Construção [recurso eletrônico] : Inovação, Sustentabilidade e Transformação nas Cidades, nas Profissões e na Sociedade / Joelson Lopes da Paixão ... [et al.]. – Curitiba, PR: Aurum Editora, 2026.

Dados eletrônicos (1 PDF).

ISBN 978-65-6223-053-6

1. Interdisciplinaridade. 2. Sustentabilidade.
3. Inovação. I. Paixão, Joelson Lopes da. II. Nobre, José Douglas Ferreira. III. Dandaro, Fernando. IV. Silva, Wirna Maria Alves da. V. Título.

CDU 330.341.1

Catlogação na fonte: Bruna Heller (CRB10/2348)

Índices para catálogo sistemático:

1 Inovação 330.341.1

DOI: 10.63330/livroautoral912026-

Aurum Editora Ltda

CNPJ: 589029480001-12

contato@aurumeditora.com

(41) 98792-9544

Curitiba - Paraná



ORGANIZADORES



Joelson Lopes da Paixão

Mestre e Bacharel em Engenharia Elétrica pela UFSM. Especialista em Educação e em áreas relacionadas à Engenharia Elétrica. Pesquisador na UFSM.

E-mail: joelson.paixao@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6907289379766915>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8874-5151>



José Douglas Ferreira Nobre

Mestrando em Biotecnologia, Universidade Federal do Ceará (UFC)

E-mail: dnobre08@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5738174052835567>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0618-4070>



Fernando Dandaro

Pós-Doutor em Administração e em Educação, UML/UFPR

Docente da FATEC - Faculdade de Tecnologia de Franca "Dr. Thomaz Novelino".

E-mail: fdandaro@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6702553582427541>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6530-242X>





Wirna Maria Alves da Silva

Doutora em Ciências Criminais

Centro Universitário Santo Agostinho - UNIFSA

E-mail: wirnam@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2606253340502815>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6511-2237>



Filipe da Cunha Gomes

Doutor em Sociologia pela UPFE. UEMA

E-mail: filipecunha1992@gmail.com

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/4369878520205803>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8587-5106>



Adonis Rogério Fracaro

Doutorando em Informática na Educação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Docente do Instituto Federal Catarinense (IFC).

E-mail: adonisfracaro@gmail.com

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/7916598804962699>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0370-0507>



Charles Rangel de Deus Vieira

Mestre em Administração, com foco em Gestão Escolar, pela Must University/Universidade da Amazônia (UNAMA).

E-mail: charlesrangeldeus@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1573513714687095>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6706-8696>



Marcos Aurélio Viana Lima

Especialista em Arquitetura e Urbanismo e História da Arte pela Faculdade Metropolitana - Fametro

Bacharel em Arquitetura e Urbanismo pelo Centro Universitário 7 de Setembro - Uni7

E-mail: marcosvianna.arq@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1823470145126727>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6461-6855>



Rodrigo José Leite Cavalcante

Mestre em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

E-mail: rodrigo.rjlc@ufpe.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2461068935264486>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1438-4522>

AUTORES

Adiléia Ribeiro Santos
Alessandro Ramos Carloni
Alexandre Braga Soares Júnior
Allyson Ribeiro Lima
Ana Paula Gatto da Conceição
Andréa Leite de Alencar Salgado
Belmiro Marcos Beloni
Carlos Fernando Albuquerque
Cristiane Ponte da Silva
Edilene Marques dos Santos
Eliana Marques Gomes da Silva
Everaldo dos Santos Mendes
Fernanda de Souza Ramos Jobim
Fernando Dandaro
Filipe da Cunha Gomes
Filipe Molinar Machado
Geovany Rodrigues de Miranda Junior
Jaimy Paulo da Silva Rego
Janeth Reis de Azevedo
Jaques José da Silva Souza
Joelson Lopes da Paixão
Jonas Moraes dos Santos
José Douglas Ferreira Nobre
Keise Pâmela Santos de Moraes
Keyla Morales de Lima Garcia
Kleyson Matos Silva
Lucas Felipe Santos Maia
Luiz Corrêa de Mello Neto
Maitê Guimarães Pinto
Márcia Gabellini
Maria Gabriela Barcelos Iensen
Maria Josileide da Silva Souza
Mayara Simões de Carvalho
Merielle Camilo
Paulo Bernardes Honório de Mendonça
Ricardo de Castro Savoldi
Rodrigo José Leite Cavalcante
Rogerio Pacheco Bras
Sâmila de Sousa Rodrigues
Samuel Gonçalves Pinto
Tales Ramos Monteiro dos Santos



PREFÁCIO

Há uma dificuldade específica em organizar uma obra sobre o futuro, e ela não é a que geralmente se imagina.

A dificuldade evidente é que o futuro não existe como objeto de conhecimento. Não há dados sobre o que ainda não ocorreu. O que existe são projeções construídas a partir de regularidades observadas e hipóteses sobre a persistência dessas regularidades. Tratar tais construções como descrições factuais de estados futuros é um erro comum, e produz planos rígidos que se quebram ao primeiro desvio.

Mas a dificuldade mais consequente é outra, e tem natureza política. Falar do futuro no registro da previsão desloca a atenção de quem decide para o que supostamente acontecerá. Quando se afirma que determinada tecnologia vai transformar um setor, atribui-se ao artefato uma agência que ele não possui isoladamente, e simultaneamente se apaga o conjunto de decisões humanas que produzirão ou não essa transformação: decisões de investimento, de desenho organizacional, de regulação, de contratação, de formação, de negociação coletiva. A linguagem da inevitabilidade tecnológica é, sob esse aspecto, uma forma de não examinar quem está decidindo.

Os capítulos deste volume evitam sistematicamente esse deslocamento. Nenhum deles trata como inevitável o desaparecimento de profissões, a conversão automática de cidades em cidades inteligentes, um efeito determinado da automação sobre o emprego ou o colapso da confiabilidade científica diante das ferramentas de escrita automatizada. Todos examinam, em vez disso, as condições que favorecem, limitam ou redirecionam cada um desses desfechos. É uma escolha analítica mais exigente e menos vendável do que o prognóstico, e o leitor que procurar aqui um roteiro fechado do que virá não o encontrará.

Encontrará, em compensação, um conjunto de distinções que ajudam a pensar melhor. Entre prever e antecipar. Entre instrumentar um sistema e melhorar o serviço que ele presta. Entre a viabilidade técnica de automatizar uma tarefa, a decisão organizacional de automatizá-la e o efeito líquido dessa decisão sobre o trabalho. Entre transparência e responsabilização, que não são a mesma coisa e cuja confusão produz arranjos que informam sem remediar. Entre modernização técnica e desenvolvimento social, que podem caminhar juntos e frequentemente não caminham. Entre o desempenho de um modelo estatístico em um conjunto de teste e seu efeito sobre pessoas concretas quando incorporado a um serviço real. E entre o uso de uma ferramenta na produção de um texto, que admite declaração, e a apresentação como reais de dados ou referências que não foram obtidos, que é fabricação e não admite.

Essas distinções têm consequência prática imediata. Um programa de digitalização avaliado por indicadores de implantação será considerado bem-sucedido ao atingir cobertura formal. O programa avaliado por indicadores de acesso efetivo pode revelar que os ganhos se concentraram em quem já dispunha de condições favoráveis, enquanto quem mais dependia do serviço enfrentou barreira adicional. Ambas as avaliações podem ser metodologicamente consistentes, mas medem dimensões distintas. A escolha entre elas é decisão substantiva sobre o que a instituição se compromete a perseguir, e raramente é apresentada como tal.

Um segundo fio percorre o volume, e vale nomeá-lo porque contraria certa expectativa. Vários capítulos concluem que o obstáculo principal não é técnico. Na infraestrutura, a condição futura dos sistemas será determinada menos pela capacidade adicional construída do que pelo tratamento dado ao estoque existente, e a manutenção compete no orçamento com obras cuja visibilidade política é incomparavelmente maior. Na educação, recomendações pedagógicas bem fundamentadas encontram organização do trabalho docente que as torna inexequíveis, e transmiti-las sem alterar essa organização produz responsabilização indevida. Na saúde, sistemas concebidos para melhorar a documentação ampliaram a carga administrativa e



reduziram o tempo dedicado à relação clínica, não por defeito da tecnologia, mas por decisões de implementação. No campo, o fundamento agrônômico do manejo diferenciado é sólido, e a distância entre esse fundamento e o resultado observado se explica por custo, conectividade, escala e assistência técnica. Na produção científica, as ferramentas que reduzem o custo de escrever encontraram um sistema que já remunerava volume de publicação, de modo que o problema reside menos na tecnologia do que na estrutura de incentivos sobre a qual ela incidiu. O padrão se repete com uma regularidade que não é coincidência.

Nenhum destes capítulos oferece garantias. O que oferecem são perguntas que valeria a pena fazer antes de decidir, critérios para avaliar o que já foi decidido e a insistência de que essas decisões pertencem a alguém, têm autoria e produzem efeitos distribuídos de modo desigual. É pouco, para quem esperava um roteiro. É bastante, para quem pretende decidir com responsabilidade.

Joelson Lopes da Paixão

Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).



SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	16
-------------------	----

CAPÍTULO 1 - PLANEJAR O FUTURO: INOVAÇÃO, ADAPTAÇÃO E RESPONSABILIDADE DIANTE DAS TRANSFORMAÇÕES CONTEMPORÂNEAS

José Douglas Ferreira Nobre, Jonas Moraes dos Santos, Carlos Fernando Albuquerque, Sâmila de Sousa Rodrigues e Merielle Camilo.

  <https://doi.org/10.63330/livroautoral912026-001>

.....18-40

CAPÍTULO 2 - CIDADES INTELIGENTES E HUMANAS: TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E QUALIDADE DE VIDA

Keise Pâmela Santos de Moraes, Luiz Corrêa de Mello Neto, José Douglas Ferreira Nobre, Everaldo dos Santos Mendes e Belmiro Marcos Beloni.

  <https://doi.org/10.63330/livroautoral912026-002>

.....41-60

CAPÍTULO 3 - ENGENHARIA, SUSTENTABILIDADE E INFRAESTRUTURA PARA UMA SOCIEDADE RESILIENTE

José Douglas Ferreira Nobre, Joelson Lopes da Paixão, Filipe Molinar Machado, Lucas Felipe Santos Maia e Ana Paula Gatto da Conceição.

  <https://doi.org/10.63330/livroautoral912026-003>

.....61-81

CAPÍTULO 4 - O CAMPO CONECTADO: AUTOMAÇÃO, AGRICULTURA DE PRECISÃO E SUSTENTABILIDADE RURAL

Filipe Molinar Machado, Alessandro Ramos Carloni, Joelson Lopes da Paixão, Márcia Gabellini e Ana Paula Gatto da Conceição.

  <https://doi.org/10.63330/livroautoral912026-004>

.....82-101

CAPÍTULO 5 - EDUCAÇÃO PARA UM MUNDO EM TRANSFORMAÇÃO: FORMAÇÃO, TECNOLOGIA E PENSAMENTO CRÍTICO

Fernando Dandaro, Maria Josileide da Silva Souza, Samuel Gonçalves Pinto, Fernanda de Souza Ramos Jobim e Keyla Morales de Lima Garcia.

  <https://doi.org/10.63330/livroautoral912026-005>

.....102-120

CAPÍTULO 6 - SAÚDE DO FUTURO: INOVAÇÃO, FORMAÇÃO PROFISSIONAL E HUMANIZAÇÃO DO CUIDADO

Samuel Gonçalves Pinto, Fernanda de Souza Ramos Jobim, Alexandre Braga Soares Júnior, Andréa Leite de Alencar Salgado e Maria Gabriela Barcelos Iensen.

  <https://doi.org/10.63330/livroautoral912026-006>

.....121-139



CAPÍTULO 7 - O FUTURO DO DIREITO: REGULAÇÃO, INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E PROTEÇÃO DE DIREITOS

Luiz Corrêa de Mello Neto, Allyson Ribeiro Lima, Ricardo de Castro Savoldi, Maitê Guimarães Pinto e Paulo Bernardes Honório de Mendonça.

  <https://doi.org/10.63330/livroautoral912026-007>

.....140-157

CAPÍTULO 8 - GESTÃO ECONÔMICA E FINANCEIRA NA ERA DOS DADOS E DA AUTOMAÇÃO

Rodrigo José Leite Cavalcante, Joelson Lopes da Paixão, Geovany Rodrigues de Miranda Junior, Adiléia Ribeiro Santos e Jaimy Paulo da Silva Rego.

  <https://doi.org/10.63330/livroautoral912026-008>

.....158-175

CAPÍTULO 9 - TRABALHO E PROFISSÕES DO FUTURO: AUTOMAÇÃO, COMPETÊNCIAS E PROTEÇÃO SOCIAL

Edilene Marques dos Santos, Janeth Reis de Azevedo, Cristiane Ponte da Silva, Maitê Guimarães Pinto e Rogerio Pacheco Bras.

  <https://doi.org/10.63330/livroautoral912026-009>

.....176-193

CAPÍTULO 10 - CONSTRUIR UM FUTURO INCLUSIVO: ÉTICA, GOVERNANÇA E COOPERAÇÃO MULTIDISCIPLINAR

Jaques José da Silva Souza, Janeth Reis de Azevedo, Eliana Marques Gomes da Silva, Mayara Simões de Carvalho e Maria Gabriela Barcelos Iensen.

  <https://doi.org/10.63330/livroautoral912026-010>

.....194-212

CAPÍTULO 11 - EDUCAÇÃO SUPERIOR, PESQUISA E INTEGRIDADE CIENTÍFICA NA ERA DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA

Belmiro Marcos Beloni, Merielle Camilo, Filipe da Cunha Gomes, Kleyson Matos Silva e Tales Ramos Monteiro dos Santos.

  <https://doi.org/10.63330/livroautoral912026-011>

.....213-232

POSFÁCIO.....233



APRESENTAÇÃO

Existe uma frase que circula com naturalidade em documentos de planejamento, relatórios institucionais e projetos pedagógicos: é preciso preparar-se para o futuro. Ela costuma ser recebida como evidente, e é justamente essa aparência de evidência que a torna problemática. Preparar-se para o quê, exatamente? Adquirindo o quê? Protegendo quem? Decidido por quem?

Esta obra nasceu da suspeita de que essas perguntas raramente são feitas, e de que a ausência delas produz consequências práticas identificáveis. Organizações investem em sistemas cuja lógica não compreendem. Administrações públicas anunciam modernização digital sem enfrentar as desigualdades de acesso que determinam quem se beneficiará dela. Instituições formadoras atualizam currículos sem alterar as condições de trabalho que tornariam essa atualização sustentável. Em todos esses casos, o vocabulário do futuro é mobilizado enquanto a estrutura de decisão permanece orientada pelo curto prazo.

Os onze capítulos reunidos aqui partem de uma posição comum, que não é de entusiasmo nem de recusa. Tecnologias de sensoriamento, automação, posicionamento por satélite, processamento de dados e aprendizado de máquina ampliam a capacidade de conhecer, prever, coordenar e intervir, e essa ampliação é documentada pela literatura mobilizada ao longo do volume. O que a obra examina é outra coisa: as condições sob as quais essa capacidade adicional se converte em melhoria da vida das pessoas, e as condições sob as quais ela produz o contrário, aprofundando assimetrias que já existiam.

O volume organiza-se em cinco eixos. O primeiro trata do **planejamento e do território**, articulando a capacidade de antecipar transformações e a discussão sobre cidades instrumentadas. O segundo trata da **engenharia, do ambiente e da produção**, percorrendo os sistemas físicos de longa duração e a agricultura orientada por dados. O terceiro trata da **formação, do conhecimento e do cuidado humano**, e é o mais extenso: reúne o ensino e a aprendizagem na educação básica, a produção e a certificação do conhecimento na educação superior e na pós-graduação, e o cuidado em saúde, campos em que a mediação profissional é constitutiva e não acessória. O quarto trata das **instituições e da economia**, examinando a regulação jurídica das tecnologias e a decisão econômica apoiada em dados. O quinto trata do **trabalho e da governança**, articulando as transformações ocupacionais e as condições éticas e institucionais da inovação. Os eixos não são compartimentos: cada capítulo dialoga com preocupações dos demais, e a distribuição serve à orientação do leitor, não à separação dos temas.

A escolha por uma composição multidisciplinar não é ornamental. Ela decorre de uma constatação analítica que atravessa os capítulos: os sistemas técnicos, sociais e institucionais que organizam a vida contemporânea tornaram-se interdependentes de modo que nenhuma disciplina isolada consegue descrever. O abastecimento de água depende de energia elétrica; a operação do sistema elétrico depende de telecomunicações; serviços públicos digitais dependem de todos os anteriores e de conectividade que não está uniformemente distribuída. A transição energética altera a demanda por qualificações profissionais e a geografia da produção industrial. O envelhecimento populacional altera a demanda por cuidado em um contexto em que a automação transforma a oferta de trabalho disponível para prestá-lo. Analisar essas conexões exigia reunir engenharia, educação, saúde, direito, gestão, economia e ciências agrárias em um mesmo volume.

A obra dirige-se a pesquisadores, professores, orientadores e estudantes de pós-graduação, mas também, e talvez sobretudo, a quem decide: gestores públicos e privados, engenheiros, profissionais da saúde, do direito, da educação e das ciências agrárias, editores científicos e lideranças institucionais. A linguagem foi mantida academicamente rigorosa e deliberadamente acessível. Rigor e clareza não são grandezas inversas, ainda que a produção acadêmica ocasionalmente sugira o contrário.



Cada capítulo foi concebido como texto autônomo, com problema próprio, percurso metodológico declarado e conclusões que respondem à pergunta que o abre. Podem ser lidos em qualquer ordem, isoladamente ou em conjunto. A unidade do volume não decorre de remissões entre os textos, que foram evitadas, mas da recorrência de um conjunto de preocupações: planejamento, responsabilidade, sustentabilidade, inclusão e valorização humana.

Uma palavra sobre o que esta obra não oferece. Não há aqui previsões fechadas ou deterministas sobre o que acontecerá, nem listas de tecnologias que dominarão a próxima década, nem prescrições de aplicação universal. Os capítulos são ensaios teóricos apoiados em revisão crítica de literatura, e declaram essa condição abertamente, junto com os limites que ela impõe. Onde a evidência disponível é controversa, a controvérsia foi apresentada como tal, sem a produção de consensos que a literatura não sustenta.

Os organizadores.



CAPÍTULO 1

PLANEJAR O FUTURO: INOVAÇÃO, ADAPTAÇÃO E RESPONSABILIDADE DIANTE DAS TRANSFORMAÇÕES CONTEMPORÂNEAS

PLANNING THE FUTURE: INNOVATION, ADAPTATION AND RESPONSIBILITY IN THE FACE OF CONTEMPORARY TRANSFORMATIONS

 <https://doi.org/10.63330/livroautoral912026-001>

José Douglas Ferreira Nobre

Mestrando em Biotecnologia, Universidade Federal do Ceará (UFC)

E-mail: dnobre08@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5738174052835567>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0618-4070>

Jonas Moraes dos Santos

Mestre em Educação Profissional e Tecnológica, IFSC

E-mail: Jonas.moorais@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2869376719763314>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0409-4289>

Carlos Fernando Albuquerque

Licenciado em Matemática - UFMT. Bacharel em Engenharia Sanitária-Ambiental pela UFMT. Especialista em Matemática para a Educação-Universidade Afirmativo. Cuiabá, Docente SEDUC/MT

E-mail: carlos.albuquerque@edu.mt.gov.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1285712533196056>

Sâmila de Sousa Rodrigues

Doutoranda em Gestão de Organizações Públicas/UFSM

Mestre em Gestão de Organizações Públicas/UFSM

Secretária Executiva, Universidade Federal do Piauí

E-mail: samilasr@ufpi.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9345-6982>

Merielle Camilo

Doutora em Ensino de Ciência e Tecnologia pela UTFPR. Professora de Filosofia da Rede Estadual do Paraná.

E-mail: merielle.camilo@gmail.com

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/5601217466293145>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8606-9548>

Resumo

Este capítulo analisa o planejamento do futuro como capacidade coletiva de interpretar sinais de mudança, antecipar riscos, construir cenários alternativos e orientar decisões em contextos de incerteza. O problema investigado decorre de uma tensão recorrente: transformações tecnológicas, ambientais, demográficas e ocupacionais avançam com intensidade e velocidade que frequentemente superam a capacidade de resposta de pessoas, organizações e instituições públicas, produzindo um planejamento reativo, fragmentado e

concentrado no curto prazo. A pergunta que orienta o texto é como transformar incertezas tecnológicas, ambientais e sociais em planejamento e capacidade coletiva de adaptação. O percurso é o de um ensaio teórico qualitativo, apoiado em revisão narrativa crítica de literatura oriunda dos estudos do futuro, do planejamento estratégico, da teoria da resiliência socioecológica, da economia da inovação e das políticas públicas. O argumento central sustenta que sociedades e instituições não se preparam para o futuro apenas adquirindo tecnologias, mas desenvolvendo capacidades de interpretação, planejamento, aprendizagem, coordenação e proteção das pessoas afetadas pelas mudanças. A discussão examina a distinção entre previsão e antecipação, os limites do planejamento preditivo, a articulação entre horizontes temporais, os determinantes da capacidade adaptativa, a diferença entre modernização técnica e desenvolvimento social e a distribuição desigual de riscos e oportunidades. Conclui-se que o planejamento antecipatório é menos um exercício de acerto sobre o futuro e mais uma prática institucional permanente de ampliação de alternativas, redução de vulnerabilidades e responsabilização pelas consequências das escolhas presentes.

Palavras-chave: Planejamento antecipatório; Estudos do futuro; Capacidade adaptativa; Inovação responsável; Políticas públicas.

Abstract

This chapter analyses future planning as a collective capacity to interpret signals of change, anticipate risks, build alternative scenarios and guide decisions under uncertainty. The problem addressed stems from a recurring tension: technological, environmental, demographic and occupational transformations advance with an intensity and speed that frequently exceed the response capacity of individuals, organisations and public institutions, resulting in planning that is reactive, fragmented and concentrated on the short term. The guiding question is how technological, environmental and social uncertainties can be converted into planning and collective adaptive capacity. The approach is that of a qualitative theoretical essay, resting on a critical narrative review of scientific, documentary and normative literature relevant to futures studies, strategic planning, social-ecological resilience theory, innovation economics and public policy. The central argument holds that societies and institutions do not prepare for the future merely by acquiring technologies, but by developing capacities for interpretation, planning, learning, coordination and protection of those affected by change. The discussion examines the distinction between prediction and anticipation, the limits of predictive planning, the articulation of temporal horizons, the determinants of adaptive capacity, the difference between technical modernisation and social development, and the unequal distribution of risks and opportunities. It concludes that anticipatory planning is less an exercise in getting the future right and more a permanent institutional practice of expanding alternatives, reducing vulnerabilities and assuming responsibility for the consequences of present choices.

Keywords: Anticipatory planning; Futures studies; Adaptive capacity; Responsible innovation; Public policy.

1 INTRODUÇÃO

Poucas expressões circulam hoje com tanta frequência e tão pouca precisão quanto "preparar-se para o futuro". Ela aparece em planos de governo, relatórios corporativos, projetos pedagógicos institucionais e documentos de política industrial, quase sempre associada à aquisição de tecnologias, à contratação de consultorias ou à criação de setores dedicados à inovação. O que raramente se explicita é o que, exatamente, está sendo preparado: se a capacidade de operar novos equipamentos, se a habilidade de reorganizar processos, se a proteção das pessoas cujas atividades serão afetadas, ou se a competência institucional para decidir bem quando as informações disponíveis forem insuficientes.

Essa imprecisão não é apenas semântica. Ela tem consequências práticas identificáveis. Organizações investem em sistemas cuja lógica de funcionamento não compreendem e que, por isso, subutilizam. Governos anunciam programas de modernização digital sem enfrentar as desigualdades de conectividade, letramento e acesso que determinam quem efetivamente se beneficiará deles. Instituições formadoras atualizam currículos com temas emergentes sem alterar as condições de trabalho docente que tornariam essa atualização sustentável. Em todos esses casos, o vocabulário do futuro é mobilizado enquanto a estrutura decisória permanece orientada pelo curto prazo e pela reação a eventos já ocorridos.

O problema aqui enfrentado situa-se precisamente nessa distância entre discurso prospectivo e capacidade efetiva de antecipação. Transformações tecnológicas, climáticas, demográficas e ocupacionais avançam simultaneamente, interagem entre si e produzem efeitos que não se distribuem de maneira uniforme pelo território, pelos setores econômicos ou pelos grupos sociais. A resposta institucional predominante, contudo, permanece episódica: mobiliza-se diante da crise, desmobiliza-se quando a urgência cede, e raramente converte a experiência acumulada em aprendizagem organizacional duradoura.

Há uma dificuldade adicional, de natureza epistemológica. O futuro não é objeto de conhecimento no sentido em que o passado e o presente o são. Não existem dados sobre o que ainda não ocorreu. O que existe são projeções construídas a partir de regularidades observadas, hipóteses sobre a persistência ou a ruptura dessas regularidades, e juízos sobre a plausibilidade de trajetórias alternativas. Tratar essas construções como se fossem descrições factuais de estados futuros é um erro comum, que produz planos rígidos, incapazes de absorver o inesperado, e que gera, quando as projeções falham, descrédito generalizado sobre o próprio exercício de planejar.

A pergunta norteadora deste capítulo é, portanto: **como transformar incertezas tecnológicas, ambientais e sociais em planejamento e capacidade coletiva de adaptação?** O objetivo é analisar o planejamento do futuro como capacidade de antecipar riscos, construir cenários, orientar decisões e

promover adaptação responsável diante de transformações contemporâneas, examinando tanto os instrumentos disponíveis quanto as condições institucionais, políticas e distributivas que determinam sua efetividade.

O argumento central é que sociedades e instituições não se preparam para o futuro apenas adquirindo tecnologias: elas precisam desenvolver capacidade de interpretação dos sinais de mudança, de planejamento articulado entre horizontes temporais distintos, de aprendizagem a partir de erros e acertos, de coordenação entre atores com interesses divergentes e de proteção das pessoas afetadas pelas transformações. Essas capacidades não são adquiridas no mercado; são construídas ao longo do tempo, dependem de arranjos institucionais estáveis e podem ser destruídas com relativa rapidez por descontinuidade administrativa, precarização de quadros técnicos ou captura de processos decisórios por interesses particulares.

A relevância dessa discussão para uma obra multidisciplinar reside no fato de que a capacidade de planejar não é atributo exclusivo de nenhuma área. Ela é mobilizada por gestores públicos que precisam dimensionar serviços para uma população cuja estrutura etária se transforma, por engenheiros que projetam infraestruturas com vida útil de décadas em um regime climático em mudança, por profissionais da saúde que precisam antecipar demandas assistenciais, por educadores que formam pessoas para trajetórias ocupacionais ainda indefinidas e por juristas que precisam avaliar a adequação de institutos normativos a práticas sociais emergentes. O que este capítulo oferece é o referencial geral sobre planejamento e adaptação que atravessa essas aplicações particulares, sem substituí-las.

A exposição percorre o seguinte caminho. Descrito o método, a fundamentação teórica examina a distinção entre previsão e antecipação, os limites do planejamento preditivo em ambientes de incerteza radical, a articulação entre horizontes temporais, os principais vetores de transformação contemporânea e os determinantes da capacidade adaptativa de pessoas, organizações e governos. A seção seguinte discute a diferença entre modernização técnica e desenvolvimento social, bem como a distribuição desigual de riscos e oportunidades. A quarta seção apresenta possibilidades de aplicação e instrumentos de planejamento antecipatório. A quinta trata dos obstáculos, dos riscos e das condições de implementação. Ao final, a pergunta inicial é retomada e o alcance do que foi possível sustentar, delimitado.

2 PERCURSO METODOLÓGICO

O procedimento adotado foi o do ensaio teórico, de natureza qualitativa, apoiado em revisão narrativa crítica da literatura científica, documental e normativa pertinente ao problema formulado. Não foram cumpridos os procedimentos protocolares que caracterizariam revisão sistemática, de escopo ou integrativa, entre eles registro de protocolo, definição prévia de estratégias de busca reproduzíveis, triagem documentada por múltiplos avaliadores e relato quantificado de inclusão e exclusão de registros.

As fontes mobilizadas distribuem-se por quatro conjuntos. O primeiro reúne obras de referência dos estudos do futuro e do planejamento por cenários, que fornecem o vocabulário conceitual sobre antecipação, incerteza e construção de trajetórias alternativas. O segundo compreende a literatura sobre resiliência socioecológica e capacidade adaptativa, originada nas ciências ambientais e posteriormente incorporada aos estudos de governança. O terceiro abrange a economia e a sociologia da inovação, especialmente as contribuições sobre difusão tecnológica, transições sociotécnicas, capacidades dinâmicas e aprendizagem organizacional. O quarto agrega documentos institucionais e normativos, incluindo relatórios de organismos internacionais e legislação brasileira relacionada a planejamento, proteção de dados, defesa civil e governo digital.

Os critérios gerais de seleção foram a pertinência ao problema formulado, a autoridade reconhecida das fontes em seus respectivos campos, a atualidade quando o tema exigia informação contemporânea e a aderência temática ao objetivo do capítulo. Obras consolidadas foram mobilizadas quando sua contribuição conceitual permanece necessária à compreensão do problema, e não para conferir densidade bibliográfica ao texto. Nos casos em que a paginação exata não pôde ser assegurada, preferiu-se a paráfrase responsável à transcrição literal.

O procedimento analítico consistiu na identificação de eixos temáticos recorrentes na literatura consultada, na comparação entre abordagens que oferecem explicações distintas para o mesmo fenômeno e na formulação de proposições interpretativas que articulam essas contribuições ao problema do capítulo. Quando o texto avança uma tipologia, uma distinção conceitual ou um esquema de síntese que não corresponde a instrumento validado empiricamente, isso é explicitado como construção analítica do próprio capítulo.

As limitações desse desenho são reconhecidas. Uma revisão narrativa não elimina a seletividade do autor na escolha das fontes, não permite estimar a robustez agregada das evidências disponíveis e não substitui investigação empírica sobre contextos específicos. As proposições apresentadas devem, portanto, ser lidas como contribuições interpretativas sujeitas a exame e refutação, e não são generalizáveis a qualquer setor, território ou organização.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E DISCUSSÃO CRÍTICA

3.1 O FUTURO COMO CONSTRUÇÃO COLETIVA: DA PREVISÃO À ANTECIPAÇÃO

A distinção mais consequente para o planejamento contemporâneo é aquela entre prever e antecipar. Prever supõe que o futuro seja, em alguma medida, uma extensão calculável do presente: identificadas as regularidades relevantes e estimados seus parâmetros, seria possível projetar estados futuros com margem de erro conhecida. Antecipar supõe algo diferente: que o futuro seja indeterminado, sensível a decisões

ainda não tomadas, e que a função do exercício prospectivo não seja acertar o resultado, mas ampliar o repertório de trajetórias consideradas e melhorar a qualidade das decisões presentes.

Essa diferença não é meramente terminológica. Ela redefine o critério de sucesso do planejamento. Sob a lógica preditiva, um plano é bem-sucedido quando o futuro se conforma ao que foi projetado. Sob a lógica antecipatória, um plano é bem-sucedido quando prepara a organização ou a sociedade para responder adequadamente a mais de um desfecho possível, inclusive àquele que não havia sido considerado. A literatura que consolidou o planejamento por cenários formulou essa mudança de perspectiva de maneira explícita, ao propor que o valor do exercício reside na transformação dos modelos mentais dos decisores, e não na acurácia das trajetórias descritas (WACK, 1985; SCHOEMAKER, 1995).

A noção de literacia de futuros, desenvolvida no âmbito de iniciativas internacionais dedicadas à antecipação, aprofunda essa reorientação ao tratar a capacidade de imaginar futuros alternativos como competência que pode ser desenvolvida deliberadamente em indivíduos e coletividades (MILLER, 2018). O argumento subjacente é que as imagens de futuro em circulação em uma sociedade não são neutras: elas delimitam o que parece possível, desejável ou inevitável, e essa delimitação influencia decisões de investimento, escolhas de formação profissional, prioridades orçamentárias e disposição para a mudança. Uma sociedade que só consegue imaginar o futuro como intensificação das tendências atuais tende a planejar de modo conservador; uma que confunde futuro com ruptura permanente tende a desvalorizar a manutenção do que já funciona.

Daí decorre a afirmação de que o futuro é construção coletiva e não destino inevitável. Isso não significa que ele seja inteiramente maleável à vontade. Existem inércias materiais robustas: a vida útil de uma infraestrutura, a estrutura etária de uma população, a concentração da capacidade de pesquisa em determinados territórios, os efeitos acumulados de emissões passadas. Reconhecer essas inércias é parte do realismo do planejamento. O ponto é que, dentro do espaço deixado por elas, permanecem escolhas relevantes, e essas escolhas são feitas por alguém, com ou sem deliberação pública, com ou sem consideração das pessoas afetadas.

O determinismo tecnológico opera precisamente ao ocultar esse espaço de escolha. Quando se afirma que determinada tecnologia "vai transformar" um setor, atribui-se ao artefato uma agência que ele não possui isoladamente. A literatura sobre transições sociotécnicas mostra que tecnologias emergentes só se estabilizam quando encontram alinhamento entre regimes técnicos vigentes, estruturas de mercado, arranjos regulatórios, práticas de usuários e disponibilidade de infraestrutura complementar (GEELS, 2002). Muitas inovações tecnicamente promissoras não se difundem por razões que nada têm a ver com sua qualidade intrínseca; outras se difundem apesar de alternativas superiores, por vantagens de sequência, escala ou compatibilidade. O estudo clássico sobre difusão de inovações já havia identificado que a velocidade de adoção depende de atributos percebidos, como vantagem relativa, compatibilidade com

valores existentes, complexidade, possibilidade de experimentação e visibilidade dos resultados, e não apenas do desempenho técnico (ROGERS, 2003).

Essa constatação tem implicação direta para o planejamento: prever a disponibilidade de uma tecnologia é bem mais fácil do que prever sua adoção efetiva, e prever sua adoção é bem mais fácil do que prever seus efeitos sociais distributivos. Planos que tratam esses três níveis como equivalentes tendem a superestimar sistematicamente a velocidade da transformação e a subestimar a persistência de arranjos existentes.

3.2 INCERTEZA, RISCO E OS LIMITES DO PLANEJAMENTO PREDITIVO

Planejar exige lidar com aquilo que não se conhece, mas nem tudo que não se conhece tem a mesma natureza. É útil distinguir situações em que os desfechos possíveis são conhecidos e suas probabilidades estimáveis, situações em que os desfechos são conhecidos mas as probabilidades não, e situações em que sequer o conjunto de desfechos relevantes está identificado. Instrumentos de gestão de risco funcionam razoavelmente bem no primeiro caso, perdem precisão no segundo e podem ser francamente enganosos no terceiro, quando produzem números que simulam controle sobre o desconhecido.

A crítica à sobrevalorização de eventos raros e de alto impacto chamou atenção para a assimetria entre a frequência com que tais eventos ocorrem e o peso que exercem sobre trajetórias históricas, bem como para a tendência humana de construir, retrospectivamente, explicações que fazem o imprevisto parecer previsível (TALEB, 2007). A implicação para o planejamento não é o abandono de instrumentos quantitativos, mas a compreensão de seus limites: modelos calibrados em séries históricas de comportamento estável perdem validade justamente quando o regime subjacente muda, isto é, exatamente quando o planejamento mais importa.

A discussão sobre risco em sociedades tecnologicamente avançadas acrescenta outra dimensão. Riscos contemporâneos frequentemente resultam das próprias decisões de desenvolvimento adotadas, não de forças externas; distribuem-se de maneira desigual, mas atravessam fronteiras setoriais e territoriais; e sua avaliação depende de conhecimento especializado que não é acessível de forma simétrica à população afetada (BECK, 1992). Isso desloca o problema do planejamento do plano puramente técnico para o plano político e institucional: não basta calcular o risco, é preciso decidir quem tem legitimidade para defini-lo como aceitável e quem responde por suas consequências.

Existe ainda uma dificuldade temporal específica na governança de tecnologias emergentes, frequentemente descrita como um dilema de controle: nos estágios iniciais de desenvolvimento, quando a intervenção regulatória seria mais viável, os efeitos da tecnologia ainda são pouco conhecidos; quando esses efeitos se tornam evidentes, a tecnologia já está tão entranhada em práticas, investimentos e infraestruturas que sua modificação se torna custosa e politicamente difícil (COLLINGRIDGE, 1980). Esse

dilema não tem solução completa, mas admite mitigação parcial por meio de mecanismos que mantenham a reversibilidade das decisões, evitem dependências irreversíveis prematuras e preservem capacidade de correção ao longo do tempo.

A resposta a essas limitações não é o abandono do planejamento, como às vezes se argumenta a partir da constatação de que planos falham. A crítica ao planejamento estratégico formalizado apontou justamente que sua principal falha não estava em planejar, mas em confundir planejamento com programação, isto é, em transformar o exercício em rotina burocrática de preenchimento de formulários, desconectada do pensamento estratégico e da capacidade de síntese que deveria alimentá-lo (MINTZBERG, 1994). Planos rígidos, elaborados por unidades isoladas e revisados apenas em ciclos formais, tendem a se tornar documentos de conformidade, não instrumentos de decisão.

O que a literatura sugere, em conjunto, é um deslocamento do objeto do planejamento: menos o produto, ou seja, o plano como documento, e mais o processo e as capacidades que ele constrói. Um plano cuja principal contribuição foi obrigar decisores de áreas distintas a explicitar suas premissas divergentes, identificar interdependências não percebidas e estabelecer critérios prévios para revisão pode ser valioso mesmo que suas projeções numéricas se revelem incorretas.

3.3 HORIZONTES TEMPORAIS: A ARTICULAÇÃO DIFÍCIL ENTRE CURTO, MÉDIO E LONGO PRAZO

Uma das dificuldades mais persistentes do planejamento é a assimetria entre a duração dos ciclos decisórios e a duração dos processos que se pretende influenciar. Mandatos eletivos, ciclos orçamentários, períodos de gestão executiva e prazos de prestação de contas operam em escalas de um a quatro anos. Transições energéticas, formação de quadros profissionais qualificados, mudanças demográficas, recuperação de ecossistemas degradados e amortização de grandes infraestruturas operam em escalas de uma a várias décadas.

Essa assimetria não é acidental nem corrigível apenas por boa vontade dos decisores. Ela é estrutural: os incentivos institucionais que organizam a responsabilização política e gerencial premiam resultados verificáveis dentro do horizonte de avaliação. Investimentos cujos benefícios se materializam após a saída do gestor competem em desvantagem com aqueles de retorno visível imediato, mesmo quando os primeiros têm valor social superior. Manutenção preventiva de infraestrutura é o exemplo mais evidente: sua eficácia se manifesta na ausência de falhas, resultado politicamente invisível, ao passo que a obra nova é imediatamente atribuível.

A aceleração das estruturas temporais na modernidade agrava essa tensão. A compressão dos ciclos de inovação, de consumo e de comunicação reduz o intervalo em que decisões podem ser deliberadas, submetidas a exame público e revisadas, produzindo uma situação em que a velocidade de transformação

social supera a velocidade de adaptação das instituições encarregadas de regulá-la (ROSA, 2013). Instituições que funcionam por deliberação, contraditório e produção de consenso são, por desenho, mais lentas do que mercados que funcionam por decisão descentralizada. Essa diferença de ritmo, em si legítima, torna-se problema quando produz vazios regulatórios prolongados ou quando pressiona instituições a decidir sem informação suficiente.

A articulação entre horizontes exige, portanto, arranjos que protejam objetivos de longo prazo da erosão pelo curto prazo, sem torná-los imunes à revisão democrática. Instrumentos de planejamento plurianual, metas com trajetória definida, fundos com regras de aplicação estáveis, órgãos técnicos com mandato protegido e obrigações de avaliação periódica cumprem parcialmente essa função. Nenhum deles é suficiente isoladamente, e todos são vulneráveis a descontinuidade administrativa quando não possuem enraizamento institucional e apoio social.

Vale registrar uma advertência analítica: proteger objetivos de longo prazo não deve significar blindá-los contra o escrutínio público. Metas de longo prazo estabelecidas em determinado momento incorporam pressupostos que podem se revelar incorretos, prioridades que podem deixar de ser socialmente aceitas e distribuições de custo que podem se mostrar injustas. Um arranjo institucional adequado combina estabilidade com mecanismos explícitos de revisão fundamentada, distinguindo revisão baseada em nova evidência de abandono baseado em conveniência política imediata.

3.4 VETORES DE TRANSFORMAÇÃO E SUAS INTERAÇÕES

O planejamento contemporâneo lida simultaneamente com transformações de naturezas distintas, cuja principal dificuldade analítica reside menos em cada uma isoladamente e mais em suas interações.

As transformações tecnológicas, particularmente as associadas à automação, ao processamento de grandes volumes de dados e a sistemas de aprendizado de máquina, alteram a composição de tarefas em praticamente todos os setores. A discussão acadêmica sobre seus efeitos ocupacionais evoluiu significativamente. Estimativas iniciais que buscaram quantificar a proporção de ocupações suscetíveis à computadorização produziram números elevados e amplamente divulgados, mas apoiavam-se em suposições sobre viabilidade técnica cuja tradução em adoção efetiva permanecia indeterminada (FREY; OSBORNE, 2017). Contribuições posteriores refinaram o problema ao mostrar que a automação opera sobre tarefas, e não sobre ocupações inteiras, e que seu efeito líquido sobre o emprego depende do equilíbrio entre o deslocamento de trabalho em atividades automatizadas e a criação de novas tarefas em que o trabalho humano possui vantagem comparativa (ACEMOGLU; RESTREPO, 2019). Esse equilíbrio não é determinado tecnicamente: depende de decisões de investimento, de estruturas tributárias que podem favorecer capital ou trabalho e de arranjos de negociação coletiva.

As transformações ambientais impõem restrições de outra ordem. Avaliações científicas consolidadas indicam que impactos associados à mudança do clima já são observáveis em sistemas naturais e humanos, que os limites da adaptação são alcançados mais rapidamente em contextos de maior vulnerabilidade preexistente e que o adiamento de medidas de adaptação amplia custos futuros e reduz o espaço de opções disponíveis (IPCC, 2022). A implicação para o planejamento é particularmente aguda em decisões de infraestrutura, cuja vida útil frequentemente excede o horizonte em que as condições ambientais de projeto permanecerão válidas. Dimensionar sistemas de drenagem, redes de energia ou edificações com base exclusivamente em séries históricas tornou-se procedimento tecnicamente questionável.

As transformações demográficas operam com previsibilidade relativamente maior, o que as torna um caso instrutivo. A estrutura etária de uma população daqui a duas décadas é, em larga medida, determinada por pessoas já nascidas, e projeções demográficas oficiais estão disponíveis com antecedência suficiente para orientar o dimensionamento de sistemas educacionais, previdenciários e de cuidado. Ainda assim, o planejamento setorial frequentemente reage a essas mudanças depois que seus efeitos se tornam problema orçamentário. Isso sugere que a insuficiência do planejamento nem sempre decorre de falta de informação; decorre também da ausência de mecanismos que convertam informação disponível em decisão tempestiva.

As transformações nas relações de trabalho e nas trajetórias profissionais combinam elementos das anteriores. A expectativa de que uma qualificação inicial sustente uma carreira inteira perdeu plausibilidade em diversos campos, o que desloca a questão da formação para o problema mais amplo das condições de tempo, financiamento e reconhecimento que tornam a aprendizagem continuada efetivamente praticável e não apenas prescrita.

A dificuldade central, contudo, está nas interações. A transição energética altera a demanda por qualificações profissionais e a geografia da produção industrial. O envelhecimento populacional altera a demanda por serviços de cuidado em um contexto em que a automação transforma a oferta de trabalho disponível para esses serviços. Eventos climáticos extremos afetam a continuidade de operação de infraestruturas digitais das quais dependem serviços públicos essenciais. Planejamentos setoriais isolados, ainda que tecnicamente competentes em seus próprios domínios, tendem a produzir soluções incompatíveis entre si e a ignorar efeitos de segunda ordem. Essa constatação é uma das justificativas mais sólidas para a cooperação interdisciplinar, que aqui não figura como valor abstrato, mas como requisito analítico decorrente da interdependência dos sistemas.

3.5 CAPACIDADE ADAPTATIVA: PESSOAS, ORGANIZAÇÕES E GOVERNOS

Se o futuro não pode ser previsto com precisão suficiente para orientar decisões rígidas, o objeto do planejamento desloca-se para a construção de capacidade de resposta. A literatura sobre resiliência oferece o vocabulário mais desenvolvido para tratar desse deslocamento.

O conceito de resiliência foi originalmente formulado em ecologia para designar a magnitude de perturbação que um sistema pode absorver antes de mudar de estado, em contraste com a noção de estabilidade entendida como retorno rápido ao equilíbrio (HOLLING, 1973). Sua transposição para sistemas socioecológicos distinguiu três propriedades relacionadas: resiliência, como capacidade de absorver perturbações mantendo função e estrutura essenciais; adaptabilidade, como capacidade dos atores de influenciar a trajetória do sistema; e transformabilidade, como capacidade de criar um sistema fundamentalmente novo quando a configuração vigente se torna insustentável (WALKER et al., 2004; FOLKE et al., 2010).

Essa tripartição é analiticamente útil porque evita duas simplificações opostas. A primeira trata resiliência como sinônimo de resistência à mudança, o que pode significar a preservação de arranjos socialmente indesejáveis, pois sistemas de exclusão, de concentração de renda ou de degradação ambiental também podem ser altamente resilientes. A segunda trata toda transformação como positiva, ignorando que rupturas mal conduzidas destroem capacidades acumuladas e recaem desproporcionalmente sobre quem tem menos recursos para absorvê-las. Um planejamento responsável precisa julgar, em cada caso, o que deve ser preservado, o que deve ser adaptado e o que deve ser deliberadamente transformado, juízo que é normativo, não técnico, e que por isso demanda deliberação pública.

No nível organizacional, a discussão sobre capacidades dinâmicas oferece uma formulação convergente. Ela sustenta que a vantagem sustentável de uma organização em ambientes de mudança rápida não decorre principalmente dos recursos que ela possui, mas de sua capacidade de perceber oportunidades e ameaças, apreender recursos para respondê-las e reconfigurar sua base de ativos e competências ao longo do tempo (TEECE; PISANO; SHUEN, 1997). Aplicada ao setor público, essa perspectiva sugere que a qualidade de um governo diante de transformações depende menos do estoque de tecnologia adquirida e mais de sua capacidade instalada de análise, coordenação e reconfiguração de programas.

A dimensão da aprendizagem é indispensável. A distinção entre aprendizagem que corrige desvios sem questionar os pressupostos que os produziram e aprendizagem que examina e revisa esses próprios pressupostos permanece uma ferramenta analítica robusta para compreender por que organizações repetem erros apesar de dispor de informação sobre eles (ARGYRIS; SCHÖN, 1996). Muitas instituições possuem sistemas de monitoramento sofisticados e mesmo assim não aprendem, porque os mecanismos de responsabilização punem o reconhecimento de erro. Quando admitir falha é custoso, os sistemas de

informação passam a produzir dados que confirmam o desempenho esperado, e a capacidade adaptativa é comprometida na exata medida em que a aparência de controle é preservada.

No nível individual, a capacidade adaptativa é frequentemente descrita como conjunto de competências como aprender a aprender, pensar criticamente e manter flexibilidade cognitiva. Essa descrição é correta mas incompleta, porque desconsidera as condições materiais que a viabilizam. Adaptar-se a mudanças ocupacionais exige tempo disponível, estabilidade de renda durante a transição, acesso a formação de qualidade e informação confiável sobre trajetórias possíveis. Tratar a adaptação como responsabilidade estritamente individual transfere a quem tem menos recursos o ônus de absorver transformações decididas em outra instância, o que constitui, em si, uma escolha distributiva.

3.6 CULTURA DE INOVAÇÃO, APRENDIZAGEM INSTITUCIONAL E RESISTÊNCIA À MUDANÇA

A expressão "resistência à mudança" costuma ser empregada de modo pouco analítico, como se designasse uma disposição psicológica difusa a ser vencida por comunicação persuasiva. Essa formulação obscurece mais do que esclarece. Em muitos casos, o que se descreve como resistência é avaliação fundamentada, por parte de quem opera um processo cotidianamente, de que a mudança proposta desconsidera restrições reais, transfere custos sem compensação ou foi concebida sem conhecimento da prática que pretende alterar.

Distinguir os tipos de resistência é condição para lidar com ela adequadamente. Há resistência que decorre de perda concreta de posição, renda ou autonomia, legítima do ponto de vista de quem a experimenta, e que exige negociação e compensação, não persuasão. Há resistência que decorre de assimetria de informação, quando os afetados não dispõem de elementos para avaliar a proposta, situação que exige transparência. Há resistência que decorre de experiências anteriores frustradas, quando sucessivas iniciativas foram anunciadas e abandonadas, situação que exige reconstrução de credibilidade, processo lento e que não admite atalhos. E há, de fato, resistência que decorre de acomodação a rotinas estabelecidas, que exige liderança e demonstração de resultados. Tratar todas essas situações com o mesmo instrumento é um erro comum de gestão da mudança.

A abordagem evolucionária da mudança econômica oferece um fundamento teórico para essa complexidade ao caracterizar organizações como portadoras de rotinas, isto é, padrões estabelecidos de ação que armazenam conhecimento operacional acumulado e conferem previsibilidade ao funcionamento cotidiano (NELSON; WINTER, 1982). Rotinas não são apenas obstáculos à inovação; são também repositórios de aprendizado organizacional. Sua substituição descuidada pode destruir conhecimento tácito que não estava documentado e cuja ausência só se torna visível quando o processo falha. Programas de

modernização que tratam práticas existentes exclusivamente como atraso a ser superado tendem a subestimar esse custo.

Cultura de inovação, nesse enquadramento, não se resume a discurso institucional favorável à experimentação. Ela se caracteriza por elementos verificáveis: existência de espaços em que a experimentação é autorizada e financiada; tratamento do erro em experimentos controlados como fonte de informação e não como falha disciplinar; canais efetivos pelos quais o conhecimento de quem executa alcança quem decide; e continuidade suficiente para que iniciativas atinjam maturidade antes de serem avaliadas. Organizações que anunciam abertura à inovação mas punem qualquer desvio do resultado esperado produzem, previsivelmente, conformidade e ocultamento de problemas.

A articulação entre produção de conhecimento e transformação social depende, de modo análogo, de mediações institucionais que não se estabelecem espontaneamente. A interface entre conhecimento acadêmico e desenvolvimento social requer arranjos de tradução, cooperação e absorção que permitam que resultados de pesquisa se convertam em capacidade aplicada em contextos concretos, sob risco de que a produção científica e as demandas sociais permaneçam em circuitos paralelos (FRACARO et al., 2026). Essa constatação reforça que a inovação relevante para o planejamento do futuro não é apenas a que gera novos artefatos, mas também a que gera novas formas de organizar serviços, coordenar atores e resolver problemas coletivos.

3.7 MODERNIZAÇÃO TÉCNICA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL: UMA DISTINÇÃO NECESSÁRIA

Um dos equívocos mais recorrentes no discurso sobre preparação para o futuro é a identificação entre modernização técnica e desenvolvimento social. A aquisição de sistemas, a digitalização de procedimentos e a automação de rotinas produzem indicadores facilmente mensuráveis, como número de serviços digitalizados, tempo médio de processamento e volume de transações, que passam a operar como evidência de progresso. Esses indicadores medem, contudo, características do processo, não seus efeitos sobre a vida das pessoas.

A perspectiva do desenvolvimento como expansão das liberdades substantivas de que as pessoas efetivamente dispõem oferece um critério alternativo mais exigente: o que importa não é a disponibilidade de meios, mas a ampliação real das capacidades de escolher e realizar aquilo que se tem razão para valorizar (SEN, 1999). Sob esse critério, um serviço público digitalizado que se torna inacessível a parcela significativa de seus usuários não representa avanço, ainda que reduza custos administrativos. A avaliação desloca-se do insumo tecnológico para o resultado distributivo.

Essa distinção tem consequência prática imediata sobre desenho de políticas. Um programa de modernização avaliado por indicadores de implantação será considerado bem-sucedido ao atingir cobertura

formal. O mesmo programa avaliado por indicadores de acesso efetivo pode revelar que os ganhos se concentraram em grupos que já dispunham de condições favoráveis, enquanto os que mais dependiam do serviço enfrentaram barreiras adicionais. Ambas as avaliações são tecnicamente corretas; medem coisas diferentes. A escolha entre elas é uma decisão política sobre o que a instituição considera relevante.

A discussão sobre o papel do Estado na inovação acrescenta um elemento a esse debate. A caracterização do investimento público como agente que assume risco em estágios iniciais de desenvolvimento tecnológico, viabilizando trajetórias que o setor privado não financiaria isoladamente, sustenta que a distribuição dos retornos dessa inovação é uma questão legítima de política pública, e não consequência natural do funcionamento de mercados (MAZZUCATO, 2013). Independentemente da posição que se adote sobre as prescrições derivadas dessa análise, que permanecem objeto de controvérsia acadêmica, ela evidencia que a relação entre inovação e benefício social é mediada por escolhas institucionais sobre financiamento, propriedade e regulação, e não decorre automaticamente do avanço técnico.

A noção de inovação responsável formaliza essa preocupação em termos operacionais, propondo que processos de inovação incorporem antecipação de consequências, reflexividade sobre pressupostos e limitações, inclusão de perspectivas de atores afetados e responsividade, entendida como a capacidade de modificar a trajetória em função do que se aprende ao longo do processo (STILGOE; OWEN; MACNAGHTEN, 2013). Essas dimensões não garantem bons resultados, e sua aplicação enfrenta dificuldades práticas consideráveis, mas fornecem critérios verificáveis para avaliar se um processo de inovação considerou efetivamente seus efeitos ou apenas os declarou.

3.8 A DISTRIBUIÇÃO DESIGUAL DE RISCOS E OPORTUNIDADES

Transformações não se distribuem uniformemente. Essa afirmação, aparentemente óbvia, é sistematicamente omitida em análises agregadas que reportam ganhos médios de produtividade, redução média de custos ou aumento médio de acesso. Médias podem ocultar movimentos opostos em subgrupos: um mesmo processo pode ampliar oportunidades para quem dispõe de qualificação, conectividade e capital, e simultaneamente reduzir alternativas para quem não dispõe.

Três dimensões dessa desigualdade merecem registro. A primeira é territorial: capacidade de pesquisa, infraestrutura de conectividade, disponibilidade de serviços especializados e presença de quadros técnicos qualificados concentram-se geograficamente, de modo que a mesma política nacional produz resultados distintos conforme o território de aplicação. A segunda é setorial: setores com maior capacidade de investimento e escala absorvem inovações mais rapidamente, ampliando diferenciais de produtividade que se traduzem em diferenciais de remuneração e de condições de trabalho. A terceira é individual:

escolaridade, faixa etária, letramento digital, vínculo formal de trabalho e rede de apoio determinam a capacidade de cada pessoa de converter mudança em oportunidade ou de absorver seus custos.

Essas dimensões interagem de forma cumulativa. Quem reside em território com infraestrutura precária, atua em setor de baixa capacidade de investimento e possui vínculo laboral instável enfrenta simultaneamente as três desvantagens, e sua exposição ao risco de exclusão é qualitativamente distinta da soma dos fatores isolados. Planejamentos que tratam a desigualdade como problema a ser corrigido depois, por políticas compensatórias, tendem a subestimar essa acumulação e a produzir resultados que consolidam assimetrias preexistentes.

A literatura sobre gestão de recursos de uso comum contribui para essa discussão ao demonstrar, a partir de investigação empírica sobre arranjos institucionais efetivamente observados, que a governança bem-sucedida de recursos compartilhados depende de condições identificáveis: limites claramente definidos, regras adaptadas às condições locais, participação dos afetados na definição dessas regras, monitoramento efetivo, sanções graduadas, mecanismos acessíveis de resolução de conflitos e reconhecimento externo do direito de auto-organização (OSTROM, 1990). Embora formulados para contextos específicos de recursos naturais, esses princípios oferecem indicações relevantes para a governança de transformações que produzem custos e benefícios coletivos, sobretudo ao evidenciar que a participação dos afetados na formulação das regras não é concessão, mas condição de efetividade.

A dimensão da inovação social é particularmente pertinente nesse ponto. A articulação entre gestão, políticas públicas e inovação social como caminhos para o desenvolvimento coletivo indica que respostas a problemas complexos frequentemente emergem de arranjos que combinam capacidade estatal, iniciativa comunitária e mediação institucional, e não exclusivamente de soluções tecnológicas concebidas de forma centralizada (DANDARO et al., 2026). Reconhecer essa pluralidade de fontes de solução amplia o repertório disponível ao planejamento e reduz a dependência de trajetórias únicas.

4 POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO: INSTRUMENTOS E PRÁTICAS DE PLANEJAMENTO ANTECIPATÓRIO

4.1 CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS COMO DISCIPLINA DE DECISÃO

A construção de cenários é o instrumento mais consolidado de planejamento sob incerteza, e também um dos mais frequentemente mal aplicados. Sua lógica consiste em identificar as forças estruturais que atuam sobre o objeto de planejamento, distinguir aquelas cuja trajetória é relativamente previsível daquelas cujo desdobramento é genuinamente incerto, e construir a partir das incertezas críticas um pequeno conjunto de narrativas internamente consistentes sobre futuros plausíveis (SCHOEMAKER, 1995).

Três características distinguem o exercício bem conduzido. Primeira: os cenários devem ser plausíveis e internamente coerentes, não meramente otimistas, pessimistas e intermediários, pois a

graduação em torno de um eixo único é uma simplificação que reintroduz a lógica preditiva pela porta dos fundos. Segunda: devem ser suficientemente distintos para exigir respostas estratégicas diferentes; se todas as opções consideradas funcionam igualmente bem em todos os cenários, o exercício não gerou informação decisória. Terceira: devem ser desconfortáveis, no sentido de incluir ao menos um desdobramento que contrarie as premissas dominantes da organização, que é precisamente onde reside seu valor, dado que o propósito é alterar modelos mentais estabelecidos (WACK, 1985).

O produto útil de um exercício de cenários não é o conjunto de narrativas, mas o que dele se deriva: a identificação de decisões robustas, isto é, aquelas que produzem resultado aceitável em todos os cenários considerados e que, portanto, podem ser tomadas desde já; a identificação de decisões contingentes, que devem ser preparadas mas não executadas até que a trajetória se defina; e a definição de sinais de monitoramento que indiquem qual trajetória está se materializando, com antecedência suficiente para permitir ajuste.

4.2 INSTRUMENTOS INSTITUCIONAIS DE PLANEJAMENTO E ANTECIPAÇÃO

No plano institucional, o planejamento antecipatório depende de instrumentos que confirmam estabilidade a compromissos de longo prazo sem eliminar sua revisibilidade. O ordenamento brasileiro dispõe de arquitetura de planejamento plurianual de matriz constitucional, articulada a leis de diretrizes orçamentárias e orçamentos anuais, que fornece, ao menos formalmente, uma estrutura de articulação entre horizontes temporais distintos. A distância entre a arquitetura formal e sua efetividade prática constitui, ela própria, objeto legítimo de investigação, mas o instrumento existe e sua subutilização é uma escolha institucional, não uma fatalidade.

Em domínios específicos, a legislação brasileira estabelece obrigações de planejamento e prevenção que ilustram a lógica antecipatória. A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil organiza a atuação estatal em torno de ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação, deslocando o eixo da atuação exclusivamente reativa para a gestão de riscos de desastre (BRASIL, 2012). A legislação sobre governo digital estabelece princípios e instrumentos para a transformação digital da administração pública, incluindo diretrizes de interoperabilidade e de disponibilização de serviços (BRASIL, 2021). A Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais institui regime jurídico de tratamento de dados que impõe, entre outros deveres, avaliação prévia de riscos em determinadas hipóteses (BRASIL, 2018). Esses dispositivos possuem escopos, exigibilidades e níveis de implementação distintos, e sua menção conjunta aqui serve apenas para indicar que a antecipação já é, em graus variados, obrigação normativa em setores relevantes, o que desloca a discussão da conveniência para a efetividade.

No plano internacional, a Agenda 2030 e seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável fornecem referência de longo prazo pactuada multilateralmente, com metas e indicadores que permitem

acompanhamento comparado (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2015). Seu valor para o planejamento reside menos na força vinculante, que é limitada, e mais na disponibilidade de linguagem comum e de estrutura de monitoramento que facilita a articulação entre políticas setoriais e a comparação entre trajetórias.

4.3 PENSAMENTO SISTÊMICO E IDENTIFICAÇÃO DE PONTOS DE INTERVENÇÃO

A interdependência entre os vetores de transformação exige instrumentos analíticos que não fragmentem o objeto. O pensamento sistêmico oferece uma contribuição relevante ao dirigir a atenção para estruturas de retroalimentação, atrasos entre causa e efeito e pontos de alavancagem, isto é, locais do sistema em que intervenções relativamente pequenas produzem efeitos amplos (MEADOWS, 2008). Uma das proposições mais úteis dessa abordagem é a de que os pontos de alavancagem mais poderosos costumam ser também os menos evidentes e os mais resistentes à mudança: alterar parâmetros quantitativos é fácil e pouco eficaz, ao passo que alterar objetivos, regras de funcionamento e pressupostos subjacentes é difícil e potencialmente transformador.

Aplicada ao planejamento institucional, essa perspectiva sugere cautela diante de intervenções que atuam sobre sintomas visíveis sem alterar as estruturas que os produzem. Ampliar a capacidade de atendimento de um serviço sobrecarregado sem examinar as razões da sobrecarga tende a produzir alívio temporário seguido de retorno ao estado anterior. Trata-se de recomendação analítica, não de fórmula: identificar pontos de alavancagem exige conhecimento profundo do sistema específico e não pode ser derivado de esquemas gerais.

4.4 SÍNTESE ANALÍTICA DOS NÍVEIS DE CAPACIDADE

O Quadro 1 organiza, em forma sintética, a articulação entre níveis de ação, capacidades requeridas e condições de viabilidade discutidas ao longo do capítulo. Trata-se de construção analítica montada para efeito expositivo, a partir das referências citadas, e não de instrumento validado empiricamente ou de escala de mensuração.

Quadro 1 – Níveis de capacidade adaptativa, requisitos e condições de viabilidade

Nível	Capacidade requerida	Condição de viabilidade	Risco associado à ausência
Individual	Aprendizagem continuada, avaliação crítica de informação, mobilidade ocupacional	Tempo disponível, estabilidade de renda, acesso a formação de qualidade	Transferência do custo da adaptação a quem tem menos recursos
Organizacional	Percepção de mudanças, reconfiguração de processos, aprendizagem a partir do erro	Continuidade de quadros técnicos, autorização para experimentar, canais entre execução e decisão	Repetição de erros documentados; modernização formal sem ganho de desempenho
Institucional/governamental	Coordenação intersetorial, planejamento plurianual, avaliação e revisão de políticas	Estabilidade de arranjos, capacidade técnica própria, mecanismos de responsabilização	Planejamento reativo, descontinuidade, captura por interesses particulares
Societal	Deliberação pública informada, participação dos afetados, pactuação de longo prazo	Transparência, acesso a informação, canais efetivos de participação	Decisões opacas, ampliação de desigualdades, perda de legitimidade

Fonte: elaboração do autor com base nas referências citadas.

A leitura do quadro deve considerar que os níveis não são independentes. Capacidade individual de adaptação depende de condições organizacionais e institucionais que a viabilizem; capacidade organizacional depende de estabilidade institucional; capacidade institucional depende de sustentação societal. Programas que atuam sobre um único nível, tipicamente o individual, por meio de iniciativas de qualificação desacompanhadas de mudanças nas demais dimensões, tendem a produzir resultados limitados e a atribuir a insuficiência ao esforço dos indivíduos.

5 DESAFIOS, RISCOS, LIMITES E CONDIÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO

Um primeiro desafio está na fragilidade da própria função de planejamento em muitas organizações públicas e privadas. Unidades de planejamento frequentemente operam sem acesso às informações que precisariam, sem participação nas decisões que deveriam informar e sem quadros estáveis capazes de acumular conhecimento sobre o objeto planejado. Nessas condições, o produto tende a ser documento formal de baixa influência, e a percepção de sua irrelevância retroalimenta o esvaziamento da função. Reverter esse ciclo exige decisão explícita sobre a posição do planejamento na estrutura decisória, não apenas aperfeiçoamento metodológico.

O segundo é a descontinuidade. Mudanças de gestão frequentemente interrompem iniciativas antes que atinjam maturidade, descartam aprendizados acumulados e reiniciam ciclos a partir do zero. O custo dessa descontinuidade raramente é contabilizado, embora seja substancial: além do desperdício direto de

recursos, ela corrói a disposição de servidores e parceiros para investir esforço em iniciativas futuras, produzindo resistência fundamentada em experiência.

O terceiro é a assimetria de capacidade técnica entre quem regula e quem é regulado, especialmente em domínios tecnológicos de evolução rápida. Quando a autoridade pública depende de informação fornecida pelos entes que supervisiona para compreender o objeto de sua atuação, a qualidade da decisão fica comprometida. Isso não se resolve apenas com contratação de consultoria externa, que pode reproduzir a assimetria em outra forma, mas com constituição de capacidade técnica própria e permanente, investimento cujo retorno se manifesta em prazo superior ao dos ciclos de gestão, o que reintroduz o problema do horizonte temporal.

O quarto é o risco de captura do próprio exercício prospectivo. Cenários e projeções não são instrumentos neutros: quem define as questões relevantes, quem participa da construção e quem valida os resultados exerce influência sobre o espaço de futuros considerados legítimos. Exercícios conduzidos exclusivamente por atores com interesse direto no resultado tendem a produzir narrativas que justificam decisões já tomadas. A inclusão de perspectivas divergentes e de representantes dos grupos afetados é, sob esse aspecto, requisito metodológico, e não apenas exigência de legitimidade.

O quinto é o risco simétrico do excesso de confiança em métodos participativos mal desenhados. Consultas realizadas sem informação prévia adequada, sem tempo suficiente para deliberação ou sem qualquer vínculo entre o que se manifesta e o que se decide produzem legitimação aparente sem alterar a decisão, com efeito corrosivo sobre a credibilidade de futuros processos. Participação inefetiva pode ser mais danosa do que sua ausência declarada.

O sexto é a possibilidade de que a linguagem do planejamento antecipatório seja empregada para postergar decisões necessárias. A afirmação de que é preciso estudar mais, construir cenários adicionais ou aguardar maturação tecnológica pode ser tecnicamente correta ou pode ser instrumento de adiamento. Distinguir uma situação da outra exige critérios explícitos sobre o que se está aguardando e sobre o custo do adiamento, incluindo a consideração de que a inação também é decisão, com consequências distributivas próprias.

Um limite adicional merece registro. As transformações discutidas neste capítulo apresentam graus muito distintos de previsibilidade. Projeções demográficas possuem base metodológica robusta e horizonte de validade relativamente longo; projeções sobre trajetórias tecnológicas específicas possuem histórico de acerto notavelmente ruim, tanto em relação ao ritmo quanto à direção. Tratar essas classes de informação com o mesmo grau de confiança é erro analítico frequente, que produz planos em que hipóteses frágeis sustentam decisões de alto custo.

Finalmente, é preciso reconhecer que o desenvolvimento das capacidades aqui discutidas não é politicamente neutro. Ampliar a transparência de processos decisórios, incluir grupos afetados na

formulação de regras, submeter decisões a avaliação de impacto distributivo e proteger objetivos de longo prazo da erosão pelo curto prazo são medidas que alteram distribuições de poder existentes. Sua implementação encontra resistência que não decorre de incompreensão técnica, mas de conflito de interesses legítimo em uma sociedade plural. Tratar essas medidas como recomendações puramente gerenciais, cuja adoção dependeria apenas de convencimento, subestima a natureza política do problema e explica parte do insucesso de reformas tecnicamente bem desenhadas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo partiu da pergunta sobre como transformar incertezas tecnológicas, ambientais e sociais em planejamento e capacidade coletiva de adaptação. A análise desenvolvida sustenta que essa transformação não se realiza pela obtenção de melhores previsões, mas pela construção de capacidades institucionais e sociais que permitam decidir bem, revisar decisões e proteger pessoas quando o futuro se afastar do que foi projetado, o que ocorrerá com frequência.

O argumento converge para três pontos. A primeira é que o critério de qualidade do planejamento precisa ser deslocado da acurácia preditiva para a robustez decisória. Um planejamento é adequado quando amplia o repertório de trajetórias consideradas, identifica decisões que funcionam sob condições variadas, prepara respostas contingentes e estabelece sinais de monitoramento que permitam ajuste tempestivo. Sob esse critério, exercícios prospectivos cujas projeções numéricas se revelaram incorretas podem ter sido valiosos, e planos cujas projeções se confirmaram podem ter sido irrelevantes.

A segunda é que capacidade adaptativa é atributo distribuído entre níveis interdependentes, e que intervenções concentradas em um único nível produzem resultados limitados. Iniciativas de qualificação individual desacompanhadas de condições organizacionais, institucionais e de proteção social tendem a transferir a responsabilidade pela adaptação a quem dispõe de menos recursos para exercê-la. A dimensão distributiva não é acessória ao planejamento: ela determina quem se beneficia das transformações e quem absorve seus custos, e essa determinação decorre de escolhas, não de propriedades intrínsecas das tecnologias envolvidas.

A terceira é que a distinção entre modernização técnica e desenvolvimento social precisa ser mantida operativa por meio de critérios de avaliação. Indicadores de implantação medem processos; indicadores de acesso efetivo e de resultado distributivo medem consequências. Instituições que avaliam apenas os primeiros podem apresentar desempenho formal satisfatório enquanto ampliam desigualdades, sem que isso apareça em seus sistemas de monitoramento. A escolha dos indicadores é, nesse sentido, decisão substantiva sobre o que a instituição se compromete a perseguir.

Cabe explicitar o que este texto não faz. Por ser ensaio teórico apoiado em revisão narrativa, ele não estabelece a robustez agregada das evidências disponíveis sobre os fenômenos discutidos, não testa

empiricamente as proposições formuladas e resulta de escolhas de recorte que outro pesquisador faria de modo distinto. As proposições sobre capacidade adaptativa e sobre condições de efetividade do planejamento derivam de literatura produzida majoritariamente em contextos institucionais diversos, e sua transposição para realidades específicas exige mediação analítica que não foi aqui realizada. O quadro apresentado constitui esquema expositivo, não instrumento de diagnóstico.

Três direções de investigação parecem promissoras. A primeira é o exame empírico das condições sob as quais instrumentos formais de planejamento efetivamente influenciam decisões, distinguindo os fatores que produzem influência real daqueles que geram apenas conformidade documental. A segunda é a análise comparada de arranjos institucionais que conseguiram sustentar objetivos de longo prazo através de mudanças de gestão, identificando os mecanismos responsáveis por essa continuidade. A terceira é a investigação sobre desenhos de participação social que produzam efeito verificável sobre decisões, em contraste com processos consultivos cuja influência permanece indeterminada.

O que permanece como proposição central é modesto em sua formulação e exigente em suas implicações: preparar-se para o futuro é, essencialmente, ampliar deliberadamente o conjunto de respostas de que uma sociedade dispõe, reduzir a vulnerabilidade daqueles que menos podem absorver mudanças e assumir responsabilidade explícita pelas consequências das escolhas feitas no presente. Nenhuma dessas tarefas é resolvida pela aquisição de tecnologia, ainda que várias delas possam ser auxiliadas por ela. Todas dependem de decisões que permanecem, integralmente, no campo da deliberação humana.

REFERÊNCIAS

ACEMOGLU, Daron; RESTREPO, Pascual. Automation and new tasks: how technology displaces and reinstates labor. **Journal of Economic Perspectives**, v. 33, n. 2, p. 3-30, 2019.

ARGYRIS, Chris; SCHÖN, Donald A. **Organizational learning II: theory, method, and practice**. Reading: Addison-Wesley, 1996.

BECK, Ulrich. **Risk society: towards a new modernity**. London: Sage, 1992.

BRASIL. **Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2012.

BRASIL. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018**. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Brasília, DF: Presidência da República, 2018.

BRASIL. **Lei nº 14.129, de 29 de março de 2021**. Dispõe sobre princípios, regras e instrumentos para o Governo Digital e para o aumento da eficiência pública. Brasília, DF: Presidência da República, 2021.

COLLINGRIDGE, David. **The social control of technology**. New York: St. Martin's Press, 1980.

DANDARO, Fernando et al. Gestão, políticas públicas e inovação social: caminhos para o desenvolvimento coletivo. In: PAIXÃO, Joelson Lopes da et al. (org.). **Saberes interdisciplinares e multidisciplinares: educação, ciência, sociedade e inovação**. Curitiba: Aurum Editora, 2026. v. 1, p. 105-121.

FOLKE, Carl et al. Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. **Ecology and Society**, v. 15, n. 4, art. 20, 2010.

FRACARO, Adonis Rogério et al. Ciência, tecnologia e inovação: interfaces entre conhecimento acadêmico e desenvolvimento social. In: PAIXÃO, Joelson Lopes da et al. (org.). **Saberes interdisciplinares e multidisciplinares: educação, ciência, sociedade e inovação**. Curitiba: Aurum Editora, 2026. v. 1, p. 50-68.

FREY, Carl Benedikt; OSBORNE, Michael A. The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation? **Technological Forecasting and Social Change**, v. 114, p. 254-280, 2017.

GEELS, Frank W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. **Research Policy**, v. 31, n. 8-9, p. 1257-1274, 2002.

HOLLING, Crawford S. Resilience and stability of ecological systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 4, p. 1-23, 1973.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2022.

MAZZUCATO, Mariana. **The entrepreneurial state: debunking public vs. private sector myths**. London: Anthem Press, 2013.

MEADOWS, Donella H. **Thinking in systems: a primer**. White River Junction: Chelsea Green Publishing, 2008.

MILLER, Riel (org.). **Transforming the future: anticipation in the 21st century**. Paris: UNESCO; Abingdon: Routledge, 2018.

MINTZBERG, Henry. **The rise and fall of strategic planning**. New York: Free Press, 1994.

NELSON, Richard R.; WINTER, Sidney G. **An evolutionary theory of economic change**. Cambridge: Belknap Press of Harvard University Press, 1982.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York: ONU, 2015.

OSTROM, Elinor. **Governing the commons: the evolution of institutions for collective action**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

ROGERS, Everett M. **Diffusion of innovations**. 5. ed. New York: Free Press, 2003.

ROSA, Hartmut. **Social acceleration: a new theory of modernity**. New York: Columbia University Press, 2013.

SCHOEMAKER, Paul J. H. Scenario planning: a tool for strategic thinking. **Sloan Management Review**, v. 36, n. 2, p. 25-40, 1995.

SEN, Amartya. **Development as freedom**. Oxford: Oxford University Press, 1999.

STILGOE, Jack; OWEN, Richard; MACNAGHTEN, Phil. Developing a framework for responsible innovation. **Research Policy**, v. 42, n. 9, p. 1568-1580, 2013.

TALEB, Nassim Nicholas. **The black swan**: the impact of the highly improbable. New York: Random House, 2007.

TEECE, David J.; PISANO, Gary; SHUEN, Amy. Dynamic capabilities and strategic management. **Strategic Management Journal**, v. 18, n. 7, p. 509-533, 1997.

WACK, Pierre. Scenarios: uncharted waters ahead. **Harvard Business Review**, v. 63, n. 5, p. 73-89, 1985.

WALKER, Brian et al. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. **Ecology and Society**, v. 9, n. 2, art. 5, 2004.

CAPÍTULO 2

CIDADES INTELIGENTES E HUMANAS: TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E QUALIDADE DE VIDA

SMART AND HUMAN CITIES: TECHNOLOGY, INFRASTRUCTURE AND QUALITY OF LIFE

 <https://doi.org/10.63330/livroautoral912026-002>

Keise Pâmela Santos de Moraes

Especialista em Tutoria em EAD, UFMS

Email: keisepamela.morais@gmail.com

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/2692597500354607>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4922-229X>

Luiz Corrêa de Mello Neto

Especialista em Direito Público, Universidade Potiguar - UnP

E-mail: drluizmello@icloud.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3216097893204684>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5786-6706>

José Douglas Ferreira Nobre

Mestrando em Biotecnologia, Universidade Federal do Ceará (UFC)

E-mail: dnobre08@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5738174052835567>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0618-4070>

Everaldo dos Santos Mendes

Doutor em Psicologia pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas) e Universidade de Coimbra (UC) e Doutor em Teologia pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e Universidade de Lisboa (Ulisboa). Universidade Federal do Amapá (UNIFAP)

E-mail: mendes.sefaradi@unifap.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6102492484900096>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0245-4167>

Belmiro Marcos Beloni

Doutor em Ensino de Ciência e Tecnologia pela UTFPR. Técnico em Assuntos Educacionais da UTFPR e Professor Pedagogo da Rede Estadual do Paraná.

E-mail: belmiro@utfpr.edu.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5690687055535873>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7120-8798>

Resumo

Este capítulo examina as condições sob as quais tecnologias digitais, sensoriamento e gestão orientada por dados podem contribuir para cidades mais eficientes, resilientes, acessíveis e sustentáveis, sem ampliar desigualdades, vigilância ou exclusão. O problema investigado decorre de uma assimetria observável entre o vocabulário da cidade inteligente, largamente difundido em documentos de planejamento e estratégias de modernização administrativa, e a persistência de déficits urbanos estruturais relacionados a saneamento,

mobilidade, moradia e acesso a serviços. A pergunta norteadora indaga como utilizar tecnologia e dados para melhorar a vida urbana sem aprofundar assimetrias territoriais e informacionais. A análise é qualitativa e assume a forma de ensaio teórico, apoiado em revisão narrativa crítica de literatura dos estudos urbanos, da administração pública, da engenharia de infraestrutura e do debate sobre governança de dados. O argumento central sustenta que uma cidade não se torna inteligente pela quantidade de dispositivos instalados, mas pela capacidade de integrar tecnologia, provisão de serviços públicos, sustentabilidade, participação cidadã e inclusão social sob arranjos de governança verificáveis. A discussão percorre a disputa conceitual em torno da noção de cidade inteligente, a relação entre infraestrutura e desigualdade territorial, a mobilidade como problema de acessibilidade, o metabolismo urbano de energia, água e resíduos, a gestão de risco climático e as implicações de privacidade e vigilância. Conclui-se que a utilidade social de soluções urbanas digitais depende de critérios explícitos de avaliação distributiva, de interoperabilidade sob controle público e de participação efetiva dos afetados.

Palavras-chave: Cidades inteligentes; Governança urbana de dados; Infraestrutura urbana; Desigualdade territorial; Participação cidadã.

Abstract

This chapter examines the conditions under which digital technologies, sensing systems and data-driven management can contribute to more efficient, resilient, accessible and sustainable cities without widening inequality, surveillance or exclusion. The problem addressed arises from an observable asymmetry between the vocabulary of the smart city, widely disseminated in planning documents and administrative modernisation strategies, and the persistence of structural urban deficits in sanitation, mobility, housing and access to services. The guiding question asks how technology and data can be used to improve urban life without deepening territorial and informational asymmetries. The analysis is qualitative and takes the form of a theoretical essay, grounded in a critical narrative review of scientific, documentary and normative literature drawn from urban studies, public administration, infrastructure engineering and the debate on data governance. The central argument holds that a city does not become smart through the number of devices installed, but through its capacity to integrate technology, public service provision, sustainability, citizen participation and social inclusion under verifiable governance arrangements. The discussion covers the conceptual dispute surrounding the smart city, the relationship between infrastructure and territorial inequality, mobility as a problem of accessibility, the urban metabolism of energy, water and waste, climate risk management, and the implications of privacy and surveillance. It concludes that the social usefulness of digital urban solutions depends on explicit criteria of distributive evaluation, on interoperability under public control and on effective participation of those affected.

Keywords: Smart cities; Urban data governance; Urban infrastructure; Territorial inequality; Citizen participation.

1 INTRODUÇÃO

A expressão "cidade inteligente" tornou-se, em pouco mais de duas décadas, um dos termos mais presentes no vocabulário do planejamento urbano e da modernização administrativa. Sua difusão foi acompanhada de uma indeterminação notável: sob o mesmo rótulo abrigam-se centrais integradas de monitoramento por vídeo, plataformas de dados abertos, sistemas de semáforos adaptativos, aplicativos de solicitação de serviços, redes de iluminação com controle remoto, programas de conectividade em espaços públicos e projetos urbanísticos concebidos integralmente a partir de infraestrutura digital. Essas iniciativas mobilizam recursos distintos, respondem a problemas distintos e produzem efeitos distributivos distintos, mas frequentemente são apresentadas como manifestações de um mesmo movimento.

Essa indeterminação não é inconsequente. Ela permite que a adoção de tecnologia seja tratada como evidência de progresso urbano independentemente do problema que resolve. Uma administração pode ampliar significativamente sua capacidade de coletar dados sobre o funcionamento da cidade sem que isso altere a qualidade do transporte público, a cobertura de saneamento ou a segurança da moradia para a parcela da população que mais depende dessas provisões. O indicador de modernização é atingido; o problema urbano permanece.

Há um segundo elemento que exige atenção. As cidades brasileiras e latino-americanas apresentam configuração historicamente marcada pela combinação entre urbanização acelerada, provisão desigual de infraestrutura e ocupação de áreas de risco por população sem alternativa habitacional. Essa configuração não é apenas contexto de aplicação das tecnologias urbanas: ela condiciona seus efeitos. Sistemas concebidos para operar sobre infraestrutura contínua e cadastros completos produzem resultados imprevistos quando aplicados a territórios em que a infraestrutura é descontínua e os registros são incompletos, e, com frequência, os territórios menos cadastrados são precisamente os mais vulneráveis.

É nessa articulação que se situa o problema tratado neste capítulo. Tecnologias de sensoriamento, comunicação e processamento de dados oferecem possibilidades reais de melhoria da gestão urbana: permitem detectar falhas antes que se tornem interrupções, dimensionar serviços com base em demanda observada, identificar padrões de uso do espaço público, antecipar situações de risco e reduzir consumo de recursos. Essas possibilidades são tecnicamente demonstráveis. O que não é demonstrável a priori é que sua implementação produza distribuição equitativa dos benefícios, e a literatura acumulada sobre experiências urbanas digitais sugere que essa distribuição depende de decisões de desenho, financiamento e governança que raramente são objeto de deliberação pública explícita.

A pergunta norteadora é, portanto: **como utilizar tecnologia e dados para melhorar a vida urbana sem ampliar desigualdades, vigilância ou exclusão?** O objetivo é analisar como tecnologias, dados e planejamento integrado podem contribuir para cidades mais eficientes, resilientes, acessíveis, sustentáveis e orientadas às necessidades da população, examinando tanto as possibilidades quanto as condições institucionais que determinam se elas se realizam.

A tese defendida aqui é que uma cidade não se torna inteligente pela quantidade de dispositivos instalados, mas pela capacidade de integrar tecnologia, serviços públicos, sustentabilidade, participação cidadã e inclusão social. Essa integração não é resultado automático da implantação técnica; ela exige arranjos de governança que definam quem controla os dados produzidos, quem tem acesso aos sistemas, quais critérios orientam a priorização de investimentos e como se avalia o efeito das soluções sobre grupos distintos da população.

A relevância dessa análise ultrapassa o campo do urbanismo. Gestores públicos decidem sobre contratos de longa duração cujos efeitos se estenderão por décadas; engenheiros dimensionam sistemas que operarão sob condições ambientais em mudança; profissionais de tecnologia desenham arquiteturas de dados cuja reversibilidade posterior pode ser custosa; juristas avaliam a compatibilidade entre práticas de monitoramento e garantias fundamentais; e a população convive cotidianamente com os resultados dessas decisões, geralmente sem ter participado delas.

A exposição segue esta ordem. Depois do percurso metodológico, a fundamentação teórica examina a disputa conceitual em torno da cidade inteligente, o deslocamento da cidade instrumentada para a cidade governada por dados, a relação entre infraestrutura e desigualdade territorial, a mobilidade como problema de acessibilidade, o metabolismo urbano de energia, água e resíduos, a gestão de risco climático e as implicações de vigilância e privacidade. A quarta seção discute possibilidades de aplicação relacionadas à governança de dados, à participação e à avaliação de utilidade social. A quinta trata dos obstáculos e das condições para levar isso a cabo. O fecho retoma a pergunta inicial e delimita o alcance da análise.

2 PERCURSO METODOLÓGICO

A análise aqui desenvolvida é de natureza qualitativa e assume a forma de ensaio teórico, apoiado em revisão narrativa crítica de literatura científica, documental e normativa. Não foram cumpridos os procedimentos protocolares que caracterizariam revisão sistemática, de escopo ou integrativa, tampouco de investigação empírica sobre experiências urbanas específicas.

Quatro conjuntos de fontes sustentam a argumentação. O primeiro reúne a literatura acadêmica sobre cidades inteligentes, incluindo tanto as formulações que consolidaram o conceito quanto as contribuições críticas que problematizaram seus pressupostos. O segundo compreende os estudos urbanos de matriz sociológica e geográfica, que fornecem o referencial sobre produção do espaço, desigualdade

territorial e provisão diferenciada de infraestrutura. O terceiro abrange a literatura técnica sobre sistemas urbanos instrumentados, governança de dados e implicações de privacidade. O quarto agrega documentos normativos e institucionais, incluindo legislação brasileira relativa a política urbana, mobilidade, saneamento, resíduos, acesso à informação e proteção de dados, além de referências internacionais de agenda urbana.

Foram selecionadas fontes pertinentes ao problema formulado, a autoridade reconhecida das fontes, a atualidade quando o tema exigia informação contemporânea e a aderência ao objetivo do capítulo. Buscou-se deliberadamente incorporar perspectivas divergentes sobre o mesmo objeto, dado que a literatura sobre cidades inteligentes apresenta controvérsia substantiva quanto ao valor e aos riscos das soluções analisadas. Optou-se por paráfrase responsável em vez de transcrição literal sempre que a verificação de paginação exata não pôde ser assegurada.

Duas restrições precisam ser declaradas. Primeira: não foram examinados casos concretos de implementação urbana, e as observações sobre padrões de resultado derivam da literatura consultada, não de verificação direta. Segunda: dados quantitativos sobre cobertura de infraestrutura, adoção tecnológica ou desempenho de sistemas não foram incorporados ao texto, dado que sua utilização responsável exigiria conferência em fontes oficiais atualizadas e a explicitação do período de referência, procedimento que, quando não realizado, produz aparência de precisão sem sustentação. O que se afirma adiante tem estatuto de interpretação, aberta a contestação, e não vale como conclusão generalizável a qualquer cidade ou programa.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E DISCUSSÃO CRÍTICA

3.1 A DISPUTA EM TORNO DO CONCEITO DE CIDADE INTELIGENTE

A noção de cidade inteligente não possui definição única, e a diversidade de formulações disponíveis não é apenas imprecisão terminológica: reflete disputas sobre o que deve ser otimizado, para quem e sob que critério. Revisões dedicadas ao mapeamento das definições em circulação identificaram que o termo tem sido empregado para designar desde a utilização intensiva de infraestrutura de tecnologia da informação até a combinação de capital humano qualificado, participação e sustentabilidade ambiental, com ênfases que variam conforme o campo disciplinar e o interesse institucional de quem o formula (ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015). Formulações de matriz econômica propuseram caracterizar a cidade inteligente pelo investimento em capital humano e social e em infraestrutura de comunicação como motores de crescimento sustentável e alta qualidade de vida, com gestão participativa dos recursos naturais (CARAGLIU; DEL BO; NIJKAMP, 2011).

A crítica mais influente a essa construção observou que o adjetivo "inteligente" opera frequentemente como recurso retórico de autopromoção urbana, empregado por administrações municipais

em competição por investimentos, sem que corresponda a transformação verificável nas condições de vida da população (HOLLANDS, 2008). O argumento não nega o potencial das tecnologias envolvidas; questiona a substituição da avaliação de resultados pela adesão a um rótulo, e chama atenção para o fato de que a maioria das definições disponíveis foi elaborada por fornecedores de soluções tecnológicas, o que introduz viés na própria delimitação do problema urbano a ser resolvido.

Contribuições posteriores aprofundaram essa análise. A observação de que projetos de cidade inteligente frequentemente partem de uma concepção do urbano como sistema técnico otimizável, sujeito a controle, previsão e ajuste, em detrimento da compreensão da cidade como arranjo político e social atravessado por conflitos legítimos foi formulada de modo particularmente contundente na crítica dedicada aos projetos concebidos integralmente a partir de infraestrutura digital, que examinou a distância entre as promessas dos materiais promocionais e o que as tecnologias efetivamente entregam (GREENFIELD, 2013). Uma perspectiva menos categórica, mas convergente quanto ao diagnóstico, argumentou que o futuro urbano digital seria construído menos por grandes projetos integrados e mais por iniciativas incrementais, com participação relevante de desenvolvedores cívicos e organizações locais operando sobre infraestrutura de dados aberta (TOWNSEND, 2013).

Para os fins deste capítulo, importa reter uma distinção operacional. A instrumentação de sistemas urbanos, que consiste na instalação de sensores, medidores, câmeras e dispositivos de comunicação, é uma capacidade técnica. A gestão urbana orientada por dados é uma prática administrativa que pode ou não decorrer dessa capacidade. E a melhoria da qualidade de vida urbana é um resultado que pode ou não decorrer dessa prática. Tratar esses três níveis como equivalentes é o erro analítico mais recorrente no campo, e é ele que permite que investimentos em instrumentação sejam apresentados como se fossem, por si, melhorias urbanas.

3.2 DA CIDADE INSTRUMENTADA À CIDADE GOVERNADA POR DADOS

A disponibilidade de dados urbanos em volume e frequência antes inexistentes altera efetivamente as possibilidades de gestão. Contadores de fluxo permitem dimensionar intervenções viárias com base em observação e não em estimativa; medição inteligente de consumo de água permite detectar perdas em setores específicos da rede; sensores em equipamentos públicos permitem substituir manutenção corretiva por manutenção baseada em condição. Essas aplicações têm fundamento técnico sólido e produzem ganhos verificáveis quando as condições institucionais de uso estão presentes.

A literatura crítica sobre urbanismo de dados observou, contudo, que a produção de dados em tempo real sobre o funcionamento urbano não é neutra em relação ao que se torna visível e ao que permanece invisível para a gestão (KITCHIN, 2014). Sistemas instrumentam aquilo que já é objeto de atenção institucional e ignoram aquilo que não é. Territórios com infraestrutura formal produzem dados; territórios

com ocupação irregular e serviços precários produzem menos dados ou dados de pior qualidade. Quando a alocação de recursos passa a ser orientada por evidência quantitativa, essa assimetria de produção de dados pode converter-se em assimetria de investimento, não por decisão deliberada, mas por consequência da própria arquitetura de informação.

A esse fenômeno soma-se a questão dos pressupostos incorporados nos sistemas de análise. Modelos que otimizam fluxo de veículos tratam o congestionamento como problema a ser resolvido pela ampliação da vazão, o que pode conflitar com objetivos de redução do uso do automóvel individual. Sistemas que priorizam chamados de manutenção por volume de solicitações favorecem territórios cuja população tem maior capacidade de acionar canais oficiais. Nenhum desses efeitos decorre de falha técnica; decorrem de escolhas de desenho que incorporam critérios normativos sem os explicitar. A análise sobre a ética das cidades inteligentes e da ciência urbana argumentou que essas escolhas exigem exame público, e não apenas validação técnica, precisamente porque distribuem custos e benefícios (KITCHIN, 2016).

A literatura sobre governança urbana inteligente contribui ao deslocar o foco da tecnologia para os arranjos institucionais. Uma revisão dedicada ao tema identificou que a maior parte dos estudos disponíveis concentra-se em soluções tecnológicas e trata a governança como variável secundária, quando a evidência sugere que as transformações mais consequentes ocorrem nas relações entre administração, cidadãos e demais atores urbanos (MEIJER; BOLÍVAR, 2016). A implicação prática é relevante: programas que investem intensamente em infraestrutura tecnológica sem alterar processos decisórios, competências institucionais e mecanismos de responsabilização tendem a produzir capacidade subutilizada.

A ciência urbana quantitativa oferece contribuição analítica que merece registro, ao caracterizar cidades como sistemas complexos cujos padrões emergem de interações descentralizadas, e não de planejamento centralizado (BATTY, 2013). Essa perspectiva sustenta que o comportamento urbano agregado apresenta regularidades identificáveis, mas simultaneamente adverte contra a expectativa de controle: sistemas complexos respondem a intervenções de modo frequentemente contraintuitivo, com efeitos que se manifestam em escalas espaciais e temporais distintas daquelas da intervenção. Formulações sobre o futuro das cidades instrumentadas destacaram a necessidade de integrar a modelagem de redes de infraestrutura à compreensão dos comportamentos sociais que as utilizam, sob risco de otimizar sistemas técnicos que não correspondem às práticas efetivas da população (BATTY et al., 2012).

3.3 INFRAESTRUTURA URBANA E A PRODUÇÃO DA DESIGUALDADE TERRITORIAL

A discussão sobre cidades inteligentes não pode ser separada da história material das infraestruturas urbanas. A análise sobre fragmentação da infraestrutura urbana argumentou que o modelo de provisão integrada e universalizada, característico de determinado período do urbanismo moderno, foi progressivamente substituído por arranjos segmentados, em que redes de alta qualidade conectam espaços

valorizados enquanto territórios periféricos permanecem com provisão precária ou ausente (GRAHAM; MARVIN, 2001). Essa fragmentação não é acidental: decorre de modelos de financiamento, de lógicas de precificação e de decisões regulatórias que tornam economicamente atrativa a provisão diferenciada.

A relevância dessa análise para o objeto deste capítulo é direta. Infraestrutura digital urbana está sujeita às mesmas dinâmicas. Redes de conectividade de alta capacidade são implantadas primeiro onde a densidade de demanda solvente justifica o investimento; sistemas de monitoramento são instalados onde há patrimônio a proteger; plataformas de serviços digitais pressupõem dispositivos, conectividade e letramento que não estão uniformemente distribuídos. Sem intervenção deliberada, a camada digital tende a reproduzir e por vezes acentuar a geografia da desigualdade preexistente.

A literatura urbana brasileira acumulou análise substantiva sobre a formação dessa geografia. A caracterização da urbanização brasileira como processo marcado pela concentração, pela desigualdade na distribuição de equipamentos e pela produção de espaços com densidades técnicas muito distintas dentro de uma mesma cidade permanece referência para compreender por que soluções concebidas como universais produzem resultados desiguais (SANTOS, 1993). A análise sobre a crise urbana brasileira acrescentou a dimensão da informalidade como componente estrutural, e não excepcional, do processo de urbanização, com implicações diretas sobre cadastros, titularidade e capacidade de acesso a serviços formais (MARICATO, 2001).

A tradição do direito à cidade oferece o referencial normativo para avaliar essas assimetrias. A formulação original propôs o direito à cidade não como acesso a bens urbanos existentes, mas como direito à participação na produção do espaço urbano e à transformação da vida urbana (LEFEBVRE, 2001). Sua retomada contemporânea reafirmou esse caráter coletivo, sustentando que se trata de um direito de transformar a cidade transformando a nós mesmos, cujo exercício depende de poder coletivo sobre os processos de urbanização (HARVEY, 2008). Aplicada às tecnologias urbanas, essa perspectiva desloca a pergunta de "quais serviços a plataforma oferece" para "quem decide o que a plataforma faz e quem responde por seus efeitos".

No ordenamento brasileiro, essa dimensão possui tradução normativa. O Estatuto da Cidade estabelece diretrizes gerais da política urbana orientadas à função social da cidade e da propriedade urbana, prevendo instrumentos de gestão democrática que incluem participação da população e de associações representativas na formulação e no acompanhamento de planos e projetos de desenvolvimento urbano (BRASIL, 2001). A existência do instrumento não garante sua efetividade, e a distância entre previsão normativa e prática administrativa constitui objeto legítimo de investigação; mas a exigência de participação não é, no contexto brasileiro, recomendação de boas práticas: é obrigação legal.

3.4 MOBILIDADE COMO PROBLEMA DE ACESSIBILIDADE

A mobilidade urbana é o domínio em que a tentação de tratar problemas urbanos como problemas de otimização técnica se manifesta com maior intensidade. Sistemas de controle semafórico adaptativo, algoritmos de roteamento e plataformas de informação em tempo real são tecnicamente sofisticados e produzem melhorias mensuráveis em indicadores de fluxo. A questão é se fluxo é o indicador adequado.

O deslocamento analítico da mobilidade para a acessibilidade, ou seja, da capacidade de se mover para a capacidade de alcançar destinos relevantes, altera substantivamente o diagnóstico. Sob a métrica do fluxo, uma via expressa que reduz o tempo de percurso é melhoria inequívoca. Sob a métrica da acessibilidade, a mesma via pode representar piora para quem não dispõe de automóvel e passa a enfrentar barreira física adicional em seus deslocamentos a pé. A observação de que a vitalidade urbana depende da diversidade de usos, da continuidade do tecido e da presença de pessoas no espaço público, formulada em crítica ao urbanismo de grande escala de meados do século XX, mantém pertinência analítica precisamente porque identifica dimensões da vida urbana que não aparecem em indicadores de desempenho viário (JACOBS, 1961).

A Política Nacional de Mobilidade Urbana brasileira incorpora essa orientação ao estabelecer entre seus princípios a acessibilidade universal e a equidade no acesso ao transporte público coletivo, e entre suas diretrizes a prioridade dos modos de transporte não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado (BRASIL, 2012). Trata-se de definição normativa de prioridade que, quando observada, deveria orientar tanto o investimento em infraestrutura quanto os critérios incorporados aos sistemas de gestão de tráfego.

Tecnologias de mobilidade podem servir a essa orientação ou contrariá-la, conforme o desenho. Sistemas de bilhetagem integrada e informação em tempo real sobre transporte coletivo ampliam previsibilidade e reduzem custo cognitivo do uso, com efeito potencialmente maior sobre usuários de menor renda, que dispõem de menos alternativas. Priorização semafórica para veículos de transporte coletivo converte capacidade técnica em vantagem para o modo com maior eficiência no uso do espaço viário. Já sistemas que otimizam exclusivamente a vazão de automóveis individuais convertem capacidade técnica em incentivo ao modo menos eficiente sob esse critério. A tecnologia é a mesma; o critério de otimização é a decisão política.

Um elemento adicional merece registro. A eletrificação da frota, frequentemente apresentada como componente da agenda de cidades sustentáveis, atua sobre a dimensão das emissões locais e da matriz energética do transporte, mas não sobre a ocupação do espaço viário nem sobre a acessibilidade de quem não possui veículo. Sua contribuição ambiental depende, ademais, da composição da matriz elétrica e da gestão da demanda adicional que a recarga impõe às redes de distribuição. Trata-se de transformação

relevante, cujo alcance, contudo, não deve ser confundido com solução para o conjunto dos problemas de mobilidade urbana.

3.5 METABOLISMO URBANO: ENERGIA, ÁGUA, SANEAMENTO E RESÍDUOS

Os sistemas que abastecem e drenam a cidade constituem o substrato menos visível e mais consequente da vida urbana. Sua instrumentação digital oferece possibilidades concretas de melhoria de desempenho, e é nesse domínio que a aplicação de tecnologias de sensoriamento apresenta correspondência mais direta entre capacidade técnica e benefício verificável.

A instrumentação de redes de distribuição de energia elétrica permite localizar interrupções com maior precisão, reduzir tempo de restabelecimento, identificar sobrecargas antes que produzam falhas e viabilizar a integração de geração distribuída. A discussão sobre Internet das Coisas aplicada a redes elétricas inteligentes destaca que esse potencial depende de arquiteturas de comunicação adequadas, de interoperabilidade entre dispositivos de fabricantes distintos e do enfrentamento de desafios relacionados à segurança e ao volume de dados gerados, elementos que condicionam a viabilidade prática das aplicações (PAIXÃO, 2025). Essas condições técnicas não são triviais e sua ausência explica parte da distância entre demonstrações piloto e operação em escala.

No saneamento, a medição setorizada e a detecção de vazamentos por análise de pressão e vazão atuam sobre um problema de dimensão reconhecida: a perda de água tratada entre a produção e o consumo, que representa simultaneamente desperdício de recurso natural, de energia e de investimento. O marco legal do saneamento básico estabelece diretrizes para a universalização e para a prestação regionalizada dos serviços, com previsão de metas a serem observadas nos contratos (BRASIL, 2020). A instrumentação pode contribuir para o cumprimento dessas metas, mas não substitui o investimento em ativos físicos: detectar um vazamento em rede deteriorada não o repara.

Na gestão de resíduos, a Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece ordem de prioridade que coloca a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e o tratamento antes da disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, além de instituir a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e prever a integração de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis (BRASIL, 2010). Sistemas de monitoramento de contêineres e roteirização de coleta atuam sobre a eficiência logística, etapa importante, porém situada no final dessa hierarquia. Tratar a otimização da coleta como resposta suficiente ao problema dos resíduos inverte a ordem de prioridade estabelecida normativamente.

A iluminação pública ilustra um padrão recorrente. A substituição de luminárias por tecnologia de maior eficiência produz redução de consumo verificável e permite, quando associada a telegestão, ajuste de intensidade e detecção automática de falhas. São ganhos reais. Contudo, quando a modernização se concentra nos eixos de maior visibilidade e não altera a cobertura em áreas periféricas com iluminação

deficiente, o efeito agregado sobre eficiência energética coexiste com a manutenção de assimetria na provisão do serviço. Ambos os fatos são verdadeiros simultaneamente, e relatórios que reportam apenas o primeiro não são falsos, mas incompletos de modo consequente.

3.6 RISCO CLIMÁTICO, EVENTOS EXTREMOS E RESPOSTA URBANA

Avaliações científicas consolidadas indicam que assentamentos urbanos concentram exposição a impactos associados à mudança do clima, que a vulnerabilidade é fortemente condicionada por desigualdades preexistentes de renda, moradia e acesso a serviços, e que a capacidade de adaptação encontra limites mais próximos em contextos de provisão precária de infraestrutura (IPCC, 2022). Essa constatação tem consequência direta sobre o desenho de sistemas urbanos de alerta e resposta.

Sistemas de monitoramento hidrometeorológico, radares, pluviômetros automáticos e modelos de previsão ampliam a antecedência com que eventos extremos podem ser identificados. Essa antecedência é condição necessária para resposta eficaz, mas não suficiente. A conversão de alerta em proteção efetiva depende de uma cadeia que inclui a comunicação do aviso em linguagem compreensível, o alcance da mensagem à população em risco, a existência de rotas e locais de abrigo conhecidos previamente, a confiança da população na fonte do alerta e a disponibilidade de alternativas para quem precisa deixar sua moradia. A falha em qualquer elo dessa cadeia anula o ganho técnico obtido na detecção.

Há ainda um problema estrutural que a tecnologia não resolve. A ocupação de áreas suscetíveis a deslizamento e inundação decorre, em grande medida, da ausência de alternativa habitacional acessível. Sistemas de alerta operam sobre a consequência dessa ocupação; políticas de moradia operam sobre sua causa. Programas que investem intensamente nos primeiros sem avançar nas segundas produzem redução de mortalidade, resultado significativo e não desprezível, sem alterar a exposição recorrente das mesmas populações. Reconhecer essa limitação não desqualifica os sistemas de alerta; delimita corretamente o que se pode esperar deles.

A dimensão da infraestrutura verde e do manejo de águas pluviais merece menção. Soluções que ampliam superfícies permeáveis, recuperam áreas de várzea e integram vegetação urbana atuam simultaneamente sobre drenagem, temperatura de superfície e qualidade do ambiente urbano. Sua contribuição depende de escala e de continuidade espacial, o que as torna dependentes de planejamento territorial e não de intervenções pontuais.

3.7 VIGILÂNCIA, PRIVACIDADE E ASSIMETRIA INFORMACIONAL

A instrumentação urbana produz dados sobre pessoas. Câmeras registram deslocamentos; sistemas de bilhetagem registram trajetos; redes de conectividade em espaços públicos registram presença; plataformas de serviços registram demandas e endereços. Individualmente, cada registro pode ser

justificado por finalidade legítima. Agregados, esses registros permitem reconstruir padrões de vida com detalhamento que a maior parte da população não presume estar disponível a qualquer autoridade ou operador.

A análise sobre a economia baseada na extração e no processamento de dados comportamentais argumentou que se consolidou uma lógica de acumulação em que a experiência humana é tratada como matéria-prima gratuita para predição e modulação de comportamento, com assimetria estrutural entre quem detém a capacidade de processar esses dados e quem os gera (ZUBOFF, 2019). Trata-se de tese ampla, objeto de debate acadêmico quanto ao seu alcance explicativo, mas sua contribuição para o campo urbano é reconhecidamente relevante: ela evidencia que a questão não se resume à proteção de informações identificáveis, envolvendo também o poder derivado da capacidade de antecipar e influenciar comportamento agregado.

A literatura sobre efeitos distributivos de sistemas automatizados de decisão acrescenta dimensão empírica a essa preocupação. A investigação sobre a aplicação de sistemas de pontuação e triagem a programas sociais documentou que a automação de decisões sobre acesso a benefícios pode produzir exclusão de pessoas elegíveis por inconsistências cadastrais, com maior incidência sobre populações cuja documentação é precária ou cujos vínculos são instáveis (EUBANKS, 2018). A análise sobre modelos preditivos de larga escala destacou que sistemas opacos, aplicados a decisões consequentes e sem mecanismos de contestação, tendem a produzir efeitos que se retroalimentam ao longo do tempo, consolidando as desvantagens que originalmente registraram (O'NEIL, 2016).

No ordenamento brasileiro, o tratamento de dados pessoais pelo poder público está submetido à Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais, que estabelece fundamentos, princípios, entre eles finalidade, adequação, necessidade, transparência e prestação de contas, e prevê disciplina específica para o tratamento realizado pelo poder público (BRASIL, 2018). A Lei de Acesso à Informação, por sua vez, estabelece a publicidade como preceito geral e o sigilo como exceção, com deveres de divulgação proativa de informações de interesse coletivo (BRASIL, 2011). A articulação entre esses dois regimes, proteção de dados pessoais e transparência da atuação estatal, não é contraditória, mas exige desenho cuidadoso: sistemas urbanos devem ser transparentes quanto ao que fazem e como decidem, e reservados quanto aos dados pessoais que processam.

A perspectiva ética sobre a vida urbana contribui ao lembrar que a cidade se constitui também pela possibilidade de anonimato, de encontro não programado e de comportamento não observado, e que a eliminação dessas condições altera a natureza da experiência urbana de modo que não se captura em indicadores de eficiência (SENNETT, 2018). Essa dimensão raramente aparece nas avaliações de programas de monitoramento, o que não significa que seja irrelevante: significa que não está sendo medida.

4 POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO, PREPARAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO

4.1 GOVERNANÇA DE DADOS URBANOS: INTEROPERABILIDADE, CONTROLE E SEGURANÇA

A condição técnica mais determinante para que sistemas urbanos produzam valor agregado é a interoperabilidade. Sistemas contratados isoladamente, com formatos proprietários e sem interfaces documentadas, produzem ilhas de informação cuja integração posterior é onerosa e por vezes inviável. O efeito prático é a dependência prolongada de um fornecedor específico, com redução da capacidade de negociação da administração e do controle público sobre a evolução do sistema.

Três exigências contratuais atuam sobre esse risco, e sua adoção depende de decisão no momento da contratação, não posteriormente. A primeira é a definição da titularidade pública dos dados produzidos, com direito de acesso íntegro em formato aberto e documentado. A segunda é a exigência de interfaces de programação padronizadas e documentadas, que permitam integração com outros sistemas sem intermediação do fornecedor original. A terceira é a previsão explícita de condições de reversão ao término do contrato, incluindo transferência de dados históricos e documentação técnica suficiente para operação por terceiro. Essas exigências não eliminam a dependência técnica, mas reduzem substancialmente seu grau.

A segurança dos sistemas urbanos instrumentados constitui questão de continuidade de serviços essenciais. Dispositivos de campo instalados em grande número, com ciclo de vida longo e capacidade computacional limitada, apresentam superfície de exposição significativa, e sua atualização após a instalação é operacionalmente complexa. A literatura sobre Internet das Coisas aplicada a ambientes urbanos identifica esse conjunto de restrições como um dos principais desafios de implementação em escala, ao lado da heterogeneidade de protocolos e das limitações de energia e comunicação dos dispositivos (ZANELLA et al., 2014). Tratar segurança como requisito posterior à implantação, e não como parâmetro de projeto, é decisão que produz custos assimétricos ao longo do ciclo de vida.

A publicação de dados urbanos em formato aberto, quando adequadamente anonimizados e documentados, amplia a capacidade de análise disponível à sociedade e permite escrutínio independente sobre o desempenho dos serviços. Seu valor depende de qualidade e continuidade: bases publicadas uma única vez, sem dicionário de dados ou sem atualização, produzem aparência de transparência sem utilidade analítica.

4.2 PARTICIPAÇÃO CIDADÃ E COPRODUÇÃO DE SERVIÇOS

A participação social na gestão urbana possui, no Brasil, base normativa consolidada e prática institucional de longa data, com instrumentos que incluem audiências públicas, conselhos setoriais e processos de elaboração participativa de planos diretores. A incorporação de canais digitais a esses

processos amplia alcance potencial, reduz custos de participação para quem não pode comparecer presencialmente e permite registro sistemático de contribuições.

Essa ampliação apresenta, contudo, um risco específico de composição. Canais exclusivamente digitais selecionam participantes por acesso a dispositivo, conectividade e letramento digital, sobrepondo à seleção já existente nos canais presenciais, que favorece quem dispõe de tempo e de mobilidade, uma segunda camada de filtragem. O resultado pode ser um processo formalmente mais aberto e substantivamente menos representativo. A resposta adequada não é abandonar o canal digital, mas mantê-lo como complemento e monitorar deliberadamente a composição de quem efetivamente participa.

Um segundo elemento condiciona a efetividade da participação: a existência de vínculo verificável entre o que se manifesta e o que se decide. Processos consultivos cujos resultados não são incorporados, nem justificadamente rejeitados, produzem desgaste cumulativo da disposição de participar. A prática de devolutiva, que consiste em informar quais contribuições foram acolhidas, quais não foram e por quais razões, é elemento simples de implementar e determinante para a sustentação do processo ao longo do tempo.

A coprodução de serviços, entendida como envolvimento direto de usuários e comunidades na geração de informação e na operação de soluções urbanas, apresenta potencial específico em contextos de baixa cobertura de sensoriamento formal. Registros comunitários sobre pontos de alagamento, condições de calçadas ou falhas de iluminação podem complementar dados institucionais, especialmente em territórios menos instrumentados. Sua incorporação exige, entretanto, protocolos de validação e clareza sobre o compromisso da administração quanto ao tratamento das informações recebidas.

4.3 CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DA UTILIDADE SOCIAL DAS SOLUÇÕES URBANAS

A avaliação de programas urbanos digitais tende a concentrar-se em indicadores de implantação, tais como número de dispositivos, cobertura territorial, volume de dados processados e serviços digitalizados. Esses indicadores medem execução, não resultado. O Quadro 1 organiza um conjunto alternativo de perguntas avaliativas, elaborado como construção analítica deste capítulo a partir das referências citadas, e não como instrumento validado ou escala de mensuração.

Quadro 1 – Perguntas avaliativas para soluções urbanas digitais

Dimensão	Pergunta central	Indício de resposta inadequada
Problema	Qual problema urbano concreto a solução endereça, e como ele foi identificado?	A solução foi oferecida antes que o problema fosse formulado
Distribuição	Quem se beneficia primeiro e quem se beneficia por último?	Ganhos concentrados em territórios já bem servidos
Acesso	O benefício exige dispositivo, conectividade ou letramento não universalizados?	Não há canal alternativo para quem não acessa o meio digital
Dados	Quem é titular dos dados gerados e quem pode acessá-los?	Titularidade do fornecedor; ausência de cláusula de reversão
Reversibilidade	O que ocorre se o contrato terminar ou a tecnologia se tornar obsoleta?	Ausência de documentação e de transferência prevista
Vigilância	Que informações sobre pessoas são geradas e por quanto tempo são retidas?	Finalidade genérica; retenção indefinida
Contestação	Como uma pessoa afetada por uma decisão automatizada pode questioná-la?	Inexistência de canal ou de revisão humana
Sustentação	Há capacidade técnica própria para operar e evoluir o sistema?	Dependência integral de suporte externo

Fonte: elaboração do autor com base nas referências citadas.

A utilidade dessas perguntas não está em produzir uma classificação, mas em tornar explícitas decisões que frequentemente permanecem implícitas na fase de concepção e se tornam irreversíveis na fase de operação. Sua aplicação no momento da formulação do edital de contratação é substancialmente mais eficaz do que após a implantação.

Referenciais internacionais de indicadores urbanos oferecem contribuição complementar ao propor conjuntos padronizados de medidas de desempenho de serviços urbanos e de qualidade de vida, permitindo comparação entre cidades e acompanhamento temporal (ISO, 2018). Sua adoção deve ser acompanhada de cautela interpretativa: indicadores padronizados facilitam comparação, mas podem não capturar dimensões relevantes de contextos específicos, e sua utilização como critério de ranqueamento tende a incentivar otimização do indicador em vez do resultado que ele pretende representar.

5 DESAFIOS, RISCOS, LIMITES E CONDIÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO

Um primeiro desafio está na assimetria de capacidade técnica entre administrações municipais e fornecedores de soluções urbanas. Grande parte dos municípios brasileiros não dispõe de quadros próprios com competência para especificar tecnicamente sistemas complexos, avaliar propostas de forma independente e fiscalizar a execução contratual. Nessas condições, a especificação tende a ser elaborada a

partir de material fornecido pelo próprio mercado, com consequências previsíveis sobre a adequação da solução ao problema local e sobre o grau de dependência resultante. Consórcios intermunicipais, apoio técnico de instituições públicas de ensino e pesquisa e estruturas estaduais de suporte constituem respostas parciais a essa limitação.

O segundo é a descontinuidade entre ciclos de gestão. Sistemas urbanos requerem operação, atualização e evolução contínuas ao longo de prazos que excedem mandatos. Programas implantados por uma administração e abandonados pela seguinte produzem ativos ociosos, dados órfãos e desgaste da confiança institucional. A mitigação depende de enraizamento em estruturas permanentes, de vinculação a planos com base legal e da formação de quadros efetivos, e não de arranjos temporários.

O terceiro é o risco de deslocamento de prioridade. Investimento em instrumentação digital compete, no mesmo orçamento, com investimento em ativos físicos de infraestrutura. Em contextos de déficit significativo de saneamento, drenagem, pavimentação ou moradia, a alocação de recursos escassos em camadas digitais sobre infraestrutura ausente ou deteriorada exige justificativa que raramente é apresentada de forma explícita. Isso não implica que a instrumentação seja sempre secundária, pois em alguns casos ela amplia a eficácia do investimento físico existente, mas implica que a comparação deveria ser feita e documentada.

O quarto é a captura da agenda pela oferta. Quando a definição do que constitui uma cidade inteligente é elaborada predominantemente por quem vende soluções, os problemas urbanos tendem a ser reformulados de modo a corresponder aos produtos disponíveis. Essa inversão é difícil de detectar porque não envolve necessariamente má-fé: fornecedores descrevem legitimamente o que suas soluções resolvem, e administrações com capacidade técnica limitada adotam esse enquadramento por ausência de alternativa analítica própria.

O quinto é o risco de que sistemas de monitoramento sejam empregados para finalidades distintas daquelas que justificaram sua implantação. Infraestrutura instalada para gestão de tráfego pode ser reaproveitada para identificação de pessoas; dados de bilhetagem podem ser requisitados para finalidades investigativas; registros de solicitação de serviços podem ser cruzados com outras bases. A limitação de finalidade não é apenas princípio jurídico: é requisito de desenho técnico, que exige segregação de bases, controle de acesso registrado e prazos de retenção definidos.

O sexto é a possibilidade de que ganhos agregados ocultem perdas localizadas. Um sistema que reduz o tempo médio de deslocamento pode fazê-lo redistribuindo fluxo para vias residenciais; um programa de eficiência energética pode concentrar benefícios em áreas de maior consumo; uma plataforma de serviços pode reduzir o tempo de atendimento para a maioria enquanto exclui integralmente quem não acessa o meio digital. Avaliações que reportam apenas médias não capturam esses efeitos, e sua

identificação exige desagregação territorial e por grupo populacional, procedimento tecnicamente simples e institucionalmente pouco praticado.

Um limite analítico do próprio campo merece registro. A literatura sobre cidades inteligentes é fortemente marcada por experiências de contextos com alta cobertura de infraestrutura básica, capacidade fiscal municipal robusta e cadastros consolidados. A transposição direta de suas conclusões, tanto as entusiastas quanto as críticas, para cidades com informalidade urbana significativa, restrição fiscal e cadastros incompletos exige mediação analítica que não pode ser presumida. Esse é um dos motivos pelos quais a produção de investigação empírica sobre experiências brasileiras e latino-americanas permanece necessária.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo partiu da pergunta sobre como utilizar tecnologia e dados para melhorar a vida urbana sem ampliar desigualdades, vigilância ou exclusão. A análise desenvolvida sustenta que a resposta não reside na escolha entre adotar ou rejeitar tecnologias urbanas, mas nas decisões de desenho, contratação, governança e avaliação que determinam a quem seus benefícios se dirigem e sob que controle seus efeitos permanecem.

Três proposições sustentam essa resposta. A primeira é que instrumentação, gestão orientada por dados e melhoria da qualidade de vida constituem níveis distintos, e que a passagem de um para o outro não é automática. Programas avaliados por indicadores de implantação podem apresentar desempenho satisfatório sem produzir alteração verificável nas condições urbanas, e a manutenção dessa distinção é condição para avaliação honesta.

A segunda é que a camada digital tende a reproduzir a geografia da desigualdade material sobre a qual se instala, salvo quando há intervenção deliberada em sentido contrário. Territórios menos instrumentados produzem menos dados; menos dados significam menor visibilidade institucional; menor visibilidade tende a se traduzir em menor prioridade de investimento. Interromper esse ciclo exige decisão explícita de instrumentar prioritariamente onde a informação é escassa, e não onde ela já é abundante, decisão que contraria a lógica de retorno imediato e que, por isso, precisa ser sustentada por critério normativo e não apenas técnico.

A terceira é que a proteção contra vigilância excessiva e contra decisões automatizadas incontestáveis não decorre de garantias declaradas, mas de arranjos verificáveis: titularidade pública dos dados, limitação de finalidade implementada em arquitetura técnica, prazos de retenção definidos, registro auditável de acessos e existência de canal efetivo de revisão humana. Esses arranjos precisam ser estabelecidos no momento da contratação, quando ainda há poder de negociação, e não após a implantação, quando a dependência já se consolidou.

É preciso registrar os limites do que foi feito. Tratando-se de ensaio apoiado em revisão narrativa, o texto não estabelece a robustez agregada da evidência disponível, não examina casos concretos de implementação e depende de escolhas de recorte que outro pesquisador poderia fazer de outra maneira. As proposições sobre efeitos distributivos derivam de literatura produzida majoritariamente em contextos institucionais diversos do brasileiro, e sua transposição exige mediação que não foi aqui realizada. O quadro apresentado constitui esquema expositivo destinado a organizar perguntas avaliativas, não instrumento de diagnóstico validado. Nenhum dado quantitativo sobre cobertura de infraestrutura, adoção tecnológica ou desempenho de sistemas foi incorporado, opção que preserva a integridade factual do texto ao custo de reduzir sua especificidade empírica.

A agenda que decorre da análise comporta três direções. A primeira é a análise comparada de contratos de soluções urbanas digitais quanto às cláusulas de titularidade de dados, interoperabilidade e reversão, com exame de seus efeitos sobre a autonomia técnica das administrações contratantes. A segunda é a avaliação desagregada, por território e por grupo populacional, dos efeitos de programas urbanos digitais já implantados, superando o reporte de médias agregadas. A terceira é a investigação sobre arranjos de coprodução de dados urbanos em territórios com baixa cobertura de sensoriamento formal, examinando as condições sob as quais informações geradas comunitariamente são efetivamente incorporadas à decisão administrativa.

A proposição que sustenta o conjunto do argumento é a de que a inteligência de uma cidade não se mede pelo que ela consegue observar, mas pelo que consegue fazer com o que observa e, sobretudo, por quem se beneficia daquilo que ela faz. Sensores, redes e plataformas ampliam a capacidade de observação. Convertê-la em melhoria da vida urbana permanece tarefa de natureza política e institucional, que nenhuma arquitetura técnica, por mais sofisticada, realiza por conta própria.

REFERÊNCIAS

ALBINO, Vito; BERARDI, Umberto; DANGELICO, Rosa Maria. Smart cities: definitions, dimensions, performance, and initiatives. **Journal of Urban Technology**, v. 22, n. 1, p. 3-21, 2015.

BATTY, Michael. **The new science of cities**. Cambridge: MIT Press, 2013.

BATTY, Michael et al. Smart cities of the future. **The European Physical Journal Special Topics**, v. 214, p. 481-518, 2012.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana (Estatuto da Cidade). Brasília, DF: Presidência da República, 2001.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF: Presidência da República, 2010.

BRASIL. **Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011**. Regula o acesso a informações previsto na Constituição Federal. Brasília, DF: Presidência da República, 2011.

BRASIL. **Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012**. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. Brasília, DF: Presidência da República, 2012.

BRASIL. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018**. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Brasília, DF: Presidência da República, 2018.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Brasília, DF: Presidência da República, 2020.

CARAGLIU, Andrea; DEL BO, Chiara; NIJKAMP, Peter. Smart cities in Europe. **Journal of Urban Technology**, v. 18, n. 2, p. 65-82, 2011.

EUBANKS, Virginia. **Automating inequality**: how high-tech tools profile, police, and punish the poor. New York: St. Martin's Press, 2018.

GRAHAM, Stephen; MARVIN, Simon. **Splintering urbanism**: networked infrastructures, technological mobilities and the urban condition. London: Routledge, 2001.

GREENFIELD, Adam. **Against the smart city**. New York: Do Projects, 2013.

HARVEY, David. The right to the city. **New Left Review**, n. 53, p. 23-40, 2008.

HOLLANDS, Robert G. Will the real smart city please stand up? **City**, v. 12, n. 3, p. 303-320, 2008.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2022**: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 37120:2018**: Sustainable cities and communities: indicators for city services and quality of life. Genebra: ISO, 2018.

JACOBS, Jane. **The death and life of great American cities**. New York: Random House, 1961.

KITCHIN, Rob. The real-time city? Big data and smart urbanism. **GeoJournal**, v. 79, n. 1, p. 1-14, 2014.

KITCHIN, Rob. The ethics of smart cities and urban science. **Philosophical Transactions of the Royal Society A**, v. 374, n. 2083, 2016.

LEFEBVRE, Henri. **O direito à cidade**. São Paulo: Centauro, 2001.

MARICATO, Ermínia. **Brasil, cidades**: alternativas para a crise urbana. Petrópolis: Vozes, 2001.

MEIJER, Albert; BOLÍVAR, Manuel Pedro Rodríguez. Governing the smart city: a review of the literature on smart urban governance. **International Review of Administrative Sciences**, v. 82, n. 2, p. 392-408, 2016.

O'NEIL, Cathy. **Weapons of math destruction**: how big data increases inequality and threatens democracy. New York: Crown, 2016.

PAIXÃO, Joelson Lopes da. Internet das Coisas (IoT): conceitos, desafios e aplicações no contexto das redes elétricas inteligentes. In: **Inovações multidisciplinares na engenharia**. Curitiba: Aurum Editora, 2025. p. 1-11.

SANTOS, Milton. **A urbanização brasileira**. São Paulo: Hucitec, 1993.

SENNETT, Richard. **Building and dwelling**: ethics for the city. New York: Farrar, Straus and Giroux, 2018.

TOWNSEND, Anthony M. **Smart cities**: big data, civic hackers, and the quest for a new utopia. New York: W. W. Norton, 2013.

ZANELLA, Andrea et al. Internet of Things for smart cities. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 1, n. 1, p. 22-32, 2014.

ZUBOFF, Shoshana. **The age of surveillance capitalism**: the fight for a human future at the new frontier of power. New York: PublicAffairs, 2019.

CAPÍTULO 3

ENGENHARIA, SUSTENTABILIDADE E INFRAESTRUTURA PARA UMA SOCIEDADE RESILIENTE

ENGINEERING, SUSTAINABILITY AND INFRASTRUCTURE FOR A RESILIENT SOCIETY

 <https://doi.org/10.63330/livroautoral912026-003>

José Douglas Ferreira Nobre

Mestrando em Biotecnologia, Universidade Federal do Ceará (UFC)

E-mail: dnobre08@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5738174052835567>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0618-4070>

Joelson Lopes da Paixão

Mestre e Bacharel em Engenharia Elétrica pela UFSM. Especialista em Educação e em áreas relacionadas à Engenharia Elétrica. Pesquisador na UFSM.

E-mail: joelson.paixao@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6907289379766915>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8874-5151>

Filipe Molinar Machado

Doutor em Engenharia Agrícola

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI

E-mail: fmacmec@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0430684898594055>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3874-3569>

Lucas Felipe Santos Maia

Mestrando em Tecnologias e Inovações Construtivas, UFSJ

E-mail: lucasfelipe31@yahoo.com.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0520224928197812>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8957-6530>

Ana Paula Gatto da Conceição

Mestre em Engenharia de Produção. Universidade Estadual de Maringá

E-mail: anapgc16@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7324649313502786>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8169-6292>

Resumo

Este capítulo analisa as condições técnicas, profissionais e institucionais necessárias para que sistemas de infraestrutura respondam adequadamente às demandas de segurança, eficiência, sustentabilidade e adaptação ambiental. O problema investigado decorre de uma assimetria persistente entre a atenção conferida à construção de novos ativos e aquela dedicada à manutenção, à modernização e à gestão do ciclo de vida dos ativos existentes, assimetria que se manifesta em orçamentos, em prioridades administrativas e na própria formação profissional. A pergunta norteadora indaga quais transformações são necessárias para

que a infraestrutura responda às demandas do futuro. O texto é um ensaio teórico qualitativo, construído sobre revisão narrativa crítica de literatura das engenharias, dos estudos de transição energética, da engenharia de resiliência e do debate sobre economia circular. O argumento central sustenta que infraestrutura resiliente não depende somente de novas obras, mas de planejamento de ciclo de vida, manutenção sistemática, modernização progressiva, eficiência no uso de recursos, adaptação climática e responsabilidade socioambiental incorporada à prática profissional. A discussão percorre a caracterização da infraestrutura como sistema sociotécnico de longa duração, os conceitos de robustez e capacidade adaptativa aplicados a sistemas de engenharia, o ritmo efetivo das transições energéticas, a integração de geração distribuída e armazenamento, a eficiência no uso de recursos, a construção sustentável e a adaptação de ativos a condições ambientais em mudança. Conclui-se que a qualidade da infraestrutura futura depende menos da disponibilidade de tecnologias específicas e mais da consolidação de práticas de gestão, de critérios de decisão de longo prazo e de responsabilidade profissional efetivamente exercida.

Palavras-chave: Infraestrutura resiliente; Gestão de ativos; Transição energética; Economia circular; Responsabilidade profissional.

Abstract

This chapter analyses the technical, professional and institutional conditions required for infrastructure systems to respond adequately to demands for safety, efficiency, sustainability and environmental adaptation. The problem addressed stems from a persistent asymmetry between the attention given to building new assets and that devoted to the maintenance, modernisation and life-cycle management of existing ones, an asymmetry visible in budgets, administrative priorities and professional education itself. The guiding question asks which transformations are necessary for infrastructure to meet future demands. The text is a qualitative theoretical essay built on a critical narrative review of scientific, technical, normative and documentary literature drawn from engineering, energy transition studies, resilience engineering and the circular economy debate. The central argument holds that resilient infrastructure depends not only on new construction, but on life-cycle planning, systematic maintenance, progressive modernisation, resource efficiency, climate adaptation and socio-environmental responsibility embedded in professional practice. The discussion covers infrastructure as a long-lived sociotechnical system, the concepts of robustness and adaptive capacity applied to engineering systems, the actual pace of energy transitions, the integration of distributed generation and storage, resource efficiency, sustainable construction, and the adaptation of assets to changing environmental conditions. It concludes that the quality of future infrastructure depends less on the availability of specific technologies than on the

consolidation of management practices, long-term decision criteria and professional responsibility effectively exercised.

Keywords: Resilient infrastructure; Asset management; Energy transition; Circular economy; Professional responsibility.

1 INTRODUÇÃO

Sistemas de infraestrutura possuem uma característica que os distingue da maior parte dos objetos técnicos: sua presença só se torna perceptível quando falham. Uma rede de distribuição de energia elétrica que opera adequadamente é invisível para quem depende dela. Uma estrutura de contenção que cumpre sua função não produz notícia. Um sistema de abastecimento de água que entrega pressão e qualidade adequadas não é objeto de atenção pública. Essa invisibilidade do funcionamento normal tem consequência direta sobre a alocação de recursos e sobre a valorização profissional das atividades associadas à conservação desses sistemas.

A assimetria resultante é observável em praticamente todos os contextos institucionais. Obras novas produzem inauguração, registro fotográfico, atribuição política e visibilidade. Manutenção preventiva produz ausência de falha, resultado que não gera evento e cuja eficácia é difícil de demonstrar precisamente porque consiste em algo que não aconteceu. O orçamento tende a seguir a visibilidade, e a consequência acumulada é um estoque de ativos cuja capacidade instalada foi construída em um período e cuja condição atual reflete décadas de manutenção diferida.

Essa situação seria problemática em qualquer contexto. Torna-se mais grave quando as condições ambientais sob as quais os ativos foram dimensionados deixam de ser representativas das condições futuras de operação. Estruturas hidráulicas dimensionadas com base em séries pluviométricas históricas, redes elétricas projetadas para fluxo unidirecional a partir de grandes centrais, edificações concebidas para faixas de temperatura que vêm sendo excedidas com frequência crescente: em todos esses casos, a premissa de estacionariedade que fundamentava o dimensionamento perdeu validade, e a revisão dessa premissa exige trabalho técnico substancial sobre ativos já construídos.

Há ainda um elemento de composição. Sistemas de infraestrutura tornaram-se progressivamente interdependentes. O abastecimento de água depende de energia elétrica para bombeamento; a operação do sistema elétrico depende de telecomunicações para supervisão e controle; as telecomunicações dependem de energia; sistemas de transporte dependem de todos os anteriores. Essa interdependência amplia eficiência em operação normal e amplia a propagação de falhas em situação de contingência. Um evento que afeta um sistema pode produzir efeitos em cascata cuja extensão não é evidente a partir da análise isolada de cada componente.

É nessa articulação, entre condição do estoque existente, mudança das condições de contorno e interdependência sistêmica, que se situa o problema aqui examinado. A resposta usual a esse conjunto de questões consiste em identificar tecnologias capazes de melhorar o desempenho dos sistemas: materiais mais duráveis, sensores para monitoramento contínuo, algoritmos de previsão de falha, fontes de energia com menor emissão associada. Essas tecnologias existem, funcionam e contribuem efetivamente. A questão que este texto examina é se elas são suficientes, e a resposta desenvolvida ao longo da análise é que não são, porque o principal condicionante do desempenho da infraestrutura não é a disponibilidade de solução técnica, mas a consolidação de práticas institucionais que sustentem sua aplicação ao longo de décadas.

A pergunta norteadora é, portanto: **quais transformações técnicas, profissionais e institucionais são necessárias para que a infraestrutura responda às demandas do futuro?** O objetivo é discutir como as engenharias podem contribuir para infraestruturas seguras, eficientes, sustentáveis, adequadamente mantidas e adaptadas às mudanças ambientais e sociais.

Sustenta-se, ao longo do capítulo, que infraestrutura resiliente não depende somente de novas obras, mas de planejamento de ciclo de vida, manutenção, modernização, eficiência no uso de recursos, adaptação climática e responsabilidade socioambiental. Cada um desses elementos exige competências profissionais específicas, arranjos institucionais que sustentem sua prática e critérios de decisão que atribuam peso adequado a horizontes temporais longos.

A relevância dessa discussão ultrapassa o campo das engenharias. Gestores públicos decidem sobre contratos e concessões cujos efeitos se estendem por décadas. Economistas avaliam investimentos cuja rentabilidade depende de premissas sobre vida útil e custo de operação. Profissionais do direito interpretam responsabilidades por falhas cuja causa raiz frequentemente remonta a decisões tomadas muito antes do evento. Instituições formadoras definem currículos que determinam quais competências estarão disponíveis quando os ativos hoje construídos exigirem intervenção. A infraestrutura é objeto compartilhado, ainda que sua discussão técnica seja frequentemente confinada a especialistas.

A ordem da exposição é a seguinte. Apresentado o método, a fundamentação teórica caracteriza a infraestrutura como sistema sociotécnico de longa duração, examina os conceitos de robustez e capacidade adaptativa aplicados à engenharia, analisa o ritmo efetivo das transições energéticas, discute a integração de geração distribuída e armazenamento, aborda eficiência no uso de recursos, construção sustentável e economia circular, e trata da adaptação de ativos a condições ambientais em mudança. A quarta seção apresenta possibilidades de aplicação relacionadas à gestão de ativos, à digitalização e aos critérios de decisão de ciclo de vida. A quinta examina os obstáculos e o que sua superação exige, incluindo a dimensão da formação e da responsabilidade profissional. O encerramento volta à pergunta inicial e demarca os limites do que se sustentou.

2 PERCURSO METODOLÓGICO

O texto foi construído como ensaio teórico de natureza qualitativa. Sua base é uma revisão narrativa crítica de literatura científica, técnica, normativa e documental relacionada ao problema em exame. Os procedimentos protocolares que caracterizam revisões sistemáticas, de escopo ou integrativas não foram cumpridos. Tampouco se trata de investigação empírica sobre ativos, sistemas ou programas específicos de infraestrutura.

O material consultado organiza-se em quatro conjuntos. O primeiro reúne a literatura sobre sistemas sociotécnicos e história das grandes redes técnicas, que fornece o referencial sobre a formação, a estabilização e a transformação de sistemas de infraestrutura ao longo do tempo. O segundo compreende a produção sobre engenharia de resiliência e segurança de sistemas, que oferece vocabulário conceitual sobre robustez, margem operacional e comportamento de sistemas complexos diante de perturbações. O terceiro abrange os estudos sobre transição energética, eficiência no uso de recursos e economia circular. O quarto agrega documentos normativos e técnicos, incluindo legislação brasileira relativa a política energética, conservação de energia, geração distribuída, mudança do clima e resíduos sólidos, além de normas técnicas nacionais e internacionais sobre desempenho de edificações, manutenção e gestão de ativos.

Orientaram a seleção a pertinência ao problema formulado, a autoridade reconhecida das fontes em seus campos, a atualidade quando o tema exigia informação contemporânea e a aderência ao objetivo do capítulo. Foram deliberadamente incorporadas perspectivas divergentes quanto ao ritmo e ao alcance das transformações discutidas, dado que a literatura sobre transição energética apresenta controvérsia substantiva sobre esses pontos. Sempre que a paginação exata não pôde ser verificada, recorreu-se à paráfrase responsável em lugar da transcrição literal.

Cabe declarar três restrições. A primeira é a ausência de dados quantitativos sobre condição de ativos, participação de fontes na matriz energética, índices de perdas ou custos de intervenção. Sua utilização responsável exigiria conferência em fontes oficiais atualizadas com explicitação do período de referência, e sua incorporação sem essa verificação produziria aparência de precisão sem sustentação. A segunda é que as normas técnicas mencionadas foram referenciadas quanto ao seu objeto e à sua função no sistema normativo, sem reprodução de requisitos específicos, procedimentos ou valores nelas estabelecidos. A terceira é que as observações sobre padrões de desempenho institucional derivam da literatura consultada e não de verificação direta em contextos determinados. O que segue vale como interpretação, e não como resultado demonstrado nem como conclusão generalizável a qualquer sistema, setor ou território.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E DISCUSSÃO CRÍTICA

3.1 INFRAESTRUTURA COMO SISTEMA SOCIOTÉCNICO DE LONGA DURAÇÃO

A análise histórica da formação das grandes redes técnicas demonstrou que sistemas de infraestrutura não se constituem apenas de artefatos físicos, mas de arranjos que combinam equipamentos, práticas operacionais, competências profissionais, modelos de financiamento, regulação e hábitos de uso. O estudo sobre a eletrificação nas sociedades ocidentais evidenciou que a expansão dos sistemas elétricos dependeu simultaneamente de invenções técnicas, de estratégias empresariais, de decisões regulatórias e de padronizações que só se estabilizaram após disputas prolongadas (HUGHES, 1983). A implicação analítica é relevante: a substituição de um componente técnico dentro de um sistema maduro encontra resistência que não decorre de conservadorismo, mas da existência de um conjunto de elementos mutuamente ajustados cuja alteração exige coordenação simultânea em várias dimensões.

Essa característica explica por que sistemas de infraestrutura apresentam inércia elevada. Ativos com vida útil de várias décadas foram dimensionados segundo normas vigentes na época de sua concepção, operam segundo procedimentos consolidados, são mantidos por profissionais formados em determinado paradigma técnico e integram cadeias contratuais de longo prazo. A modernização desse conjunto não se realiza por decisão isolada de aquisição, e sua velocidade é limitada pelo elo mais lento da cadeia, que frequentemente é a formação de pessoal ou a atualização normativa, não a disponibilidade de equipamento.

Uma segunda característica merece atenção. Sistemas de infraestrutura são construídos de forma incremental, por sucessivas ampliações e reforços aplicados sobre configurações anteriores. O resultado é uma sobreposição de gerações tecnológicas operando simultaneamente, com interfaces que nem sempre foram projetadas como tais. Redes de distribuição de energia elétrica combinam equipamentos instalados ao longo de várias décadas; sistemas de abastecimento de água operam com trechos de materiais e idades diversas; malhas viárias articulam segmentos projetados sob normas sucessivas. Essa heterogeneidade é a condição normal de operação, e não uma anomalia a ser corrigida. Projetos de modernização que pressupõem homogeneidade de partida tendem a subestimar substancialmente o esforço de integração.

A dimensão da interdependência entre sistemas acrescenta complexidade adicional. A análise sobre acidentes em sistemas de alto risco identificou que a combinação entre acoplamento estreito, isto é, pouca folga temporal ou material entre componentes, e complexidade interativa, ou seja, presença de interações não previstas entre partes, produz configurações nas quais falhas se propagam de modo que a operação não consegue diagnosticar em tempo (PERROW, 1984). A tese de que certos acidentes seriam propriedade estrutural desses sistemas permanece objeto de debate acadêmico, mas sua contribuição analítica é reconhecida: ela desloca a atenção da falha individual de componente para as propriedades de acoplamento e de complexidade do sistema como um todo.

A abordagem sistêmica de segurança avançou nessa direção ao propor que a segurança seja tratada como propriedade emergente de um sistema de controle, e não como resultado da confiabilidade individual de seus componentes (LEVESON, 2011). Sob essa perspectiva, acidentes decorrem de restrições de segurança inadequadamente aplicadas ao longo da estrutura de controle, incluindo decisões de projeto, procedimentos operacionais, arranjos organizacionais e supervisão regulatória. A investigação sobre processos decisórios que precederam falhas catastróficas documentou como desvios em relação a especificações podem ser progressivamente normalizados quando não produzem consequência imediata, até que uma combinação particular de condições torne o desvio consequente (VAUGHAN, 1996). Esse mecanismo de normalização gradual é particularmente relevante para a gestão de infraestrutura, na qual sinais de deterioração se manifestam lentamente e a ausência de falha após a postergação de uma intervenção tende a ser interpretada como evidência de que a postergação era aceitável.

3.2 RESILIÊNCIA APLICADA A SISTEMAS DE ENGENHARIA

O vocabulário da resiliência tornou-se corrente no debate sobre infraestrutura, com sentidos que nem sempre são compatíveis entre si. Uma distinção útil separa quatro capacidades. A primeira é a capacidade de absorver perturbações dentro da margem para a qual o sistema foi projetado. A segunda é a capacidade de operar em condições degradadas, mantendo funções essenciais com desempenho reduzido. A terceira é a capacidade de restabelecer a operação normal após a perturbação. A quarta é a capacidade de aprender com o evento e ajustar projeto, procedimentos ou margens para eventos futuros.

A literatura sobre engenharia de resiliência formulou essa distinção de modo produtivo ao propor que a resiliência seja compreendida como conjunto de capacidades relacionadas ao modo como um sistema absorve perturbações, adapta sua operação, restabelece funções e antecipa condições futuras, e não como propriedade única passível de medida agregada (WOODS, 2015). A contribuição do campo consistiu em deslocar a atenção da eliminação de falhas para a compreensão de como sistemas continuam funcionando apesar de perturbações rotineiras, evidenciando que essa continuidade depende frequentemente de ajustes realizados por operadores humanos e não previstos em procedimento (HOLLNAGEL; WOODS; LEVESON, 2006).

Essa perspectiva tem consequência prática direta sobre decisões de dimensionamento. Sistemas otimizados para operação em condição nominal, com margens reduzidas ao mínimo necessário para atender critérios normativos, apresentam desempenho econômico superior em situação normal e comportamento pior em situação de contingência. A margem operacional é custo em operação normal e recurso em situação anômala. A decisão sobre quanto de margem preservar é, portanto, decisão sobre distribuição de risco ao longo do tempo, e não apenas escolha de dimensionamento.

Um aspecto específico dos sistemas elétricos ilustra essa relação. A segurança do suprimento depende da capacidade de manter o atendimento diante de indisponibilidades de componentes, variações de demanda e intermitência de fontes. A discussão sobre sistemas elétricos resilientes e segurança energética, ao integrar resultados de pesquisas sobre microrredes, veículos elétricos e fontes renováveis, indica que a resiliência do sistema depende da articulação entre recursos distribuídos, capacidade de armazenamento e coordenação operativa, e não apenas da adição de capacidade de geração (PAIXÃO; ABAIDE, 2026). Essa articulação exige capacidade de controle e de comunicação que constitui, ela própria, infraestrutura sujeita a falha e a ataque, o que introduz nova camada de dependência a ser considerada no projeto.

A noção de degradação graciosa merece registro. Sistemas bem projetados sob essa ótica não passam de operação plena para interrupção total, mas admitem estados intermediários nos quais funções prioritárias permanecem atendidas. Isso exige que a hierarquia de prioridade tenha sido definida previamente, o que é decisão de natureza normativa antes de ser técnica: estabelecer quais consumidores, serviços ou regiões devem ser preservados em situação de escassez envolve juízo distributivo que não decorre de otimização.

3.3 TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: RITMO EFETIVO, ESCALA E SEGURANÇA DE ABASTECIMENTO

A substituição de fontes de energia no suprimento de uma sociedade constitui um dos processos mais lentos entre as transformações técnicas de grande escala. A análise histórica das transições energéticas documentou que a passagem de uma fonte dominante a outra levou várias décadas em todos os casos examinados, e que a nova fonte não substituiu integralmente a anterior, mas se acrescentou a ela, com a redução da fonte antiga ocorrendo bem depois do crescimento da nova (SMIL, 2010). A razão principal é a escala: substituir a capacidade instalada de um sistema energético exige mobilização de capital, materiais, mão de obra qualificada e infraestrutura de transporte em volumes que não se realizam rapidamente.

Essa constatação tem sido objeto de debate. Contribuições posteriores argumentaram que a caracterização das transições passadas não determina necessariamente o ritmo das futuras, uma vez que as condições diferem quanto à existência de política deliberada, à urgência percebida, ao custo relativo das alternativas e à escala geográfica considerada, e que transições setoriais ou nacionais podem ocorrer com rapidez substancialmente maior que as transições globais de fonte primária (SOVACOO, 2016). A controvérsia é genuína e não está resolvida. Para os fins deste capítulo, importa reter que projeções sobre velocidade de transição devem ser apresentadas como cenários condicionados a premissas explícitas, e não como trajetórias previstas.

Cenários de descarbonização produzidos por organismos internacionais indicam que a compatibilização entre suprimento energético e metas climáticas exigiria transformação simultânea em

geração, redes, uso final, eficiência e infraestrutura de transporte, com investimento concentrado nas próximas décadas e forte dependência de coordenação internacional (IEA, 2021). Trata-se de cenário normativo, construído a partir de um objetivo definido e não de projeção de tendência, e sua leitura adequada requer essa distinção. Avaliações científicas consolidadas sobre mudança do clima, por sua vez, indicam que as trajetórias de emissão observadas permanecem distantes das compatíveis com os objetivos acordados e que o adiamento de medidas amplia custos futuros e reduz o espaço de opções disponíveis (IPCC, 2023).

A transição não se resume, portanto, à substituição de fontes primárias. Ela envolve desafios sistêmicos relacionados à integração de tecnologias com perfis de operação distintos, à adequação das redes de transporte e distribuição, aos modelos de remuneração dos ativos e à coordenação entre agentes com incentivos divergentes. Essa caracterização é consistente com a perspectiva sociotécnica adotada na seção anterior: a dificuldade central não está na disponibilidade das tecnologias de geração, mas na reconfiguração do conjunto de arranjos que sustentam o funcionamento do sistema, reconfiguração cuja velocidade é limitada pelo elo mais lento da cadeia (HUGHES, 1983; GEELS, 2002).

A dimensão ambiental do próprio setor energético merece exame crítico. A geração de energia elétrica, em qualquer configuração, produz impactos ecológicos que variam em natureza, escala e distribuição espacial. A análise sobre energia elétrica e desafios ambientais argumenta que a avaliação de estratégias de sustentabilidade no setor exige consideração dos impactos ao longo de toda a cadeia, incluindo extração de materiais, ocupação territorial, alteração de regimes hídricos e destinação de equipamentos ao final da vida útil (PAIXÃO, 2026). Tratar determinada fonte como ambientalmente neutra por não emitir gases de efeito estufa durante a operação é simplificação que oculta transferências de impacto entre categorias e entre territórios.

No ordenamento brasileiro, a política energética nacional estabelece entre seus objetivos a proteção do meio ambiente, a promoção da conservação de energia e a garantia do suprimento de derivados de petróleo em todo o território (BRASIL, 1997). A Política Nacional sobre Mudança do Clima estabelece compromissos, diretrizes e instrumentos voltados à mitigação e à adaptação (BRASIL, 2009). A Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia dispõe sobre níveis máximos de consumo específico de energia e mínimos de eficiência energética de máquinas e aparelhos fabricados ou comercializados no país (BRASIL, 2001). Esses instrumentos possuem escopos, exigibilidades e níveis de implementação distintos, e sua efetividade constitui objeto legítimo de investigação, mas sua existência indica que a orientação normativa para eficiência e sustentabilidade não é apenas recomendação técnica.

3.4 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, ARMAZENAMENTO E MODERNIZAÇÃO DAS REDES

A inserção de geração junto às unidades consumidoras altera uma premissa estrutural dos sistemas de distribuição de energia elétrica. Redes originalmente concebidas para transportar potência em sentido único, das subestações para as cargas, passam a operar com fluxo bidirecional, o que afeta perfis de tensão, coordenação de proteção, planejamento de expansão e composição da receita das distribuidoras. Nenhum desses efeitos é intransponível, mas todos exigem adequação técnica e regulatória que não ocorre automaticamente.

No Brasil, o marco legal da microgeração e da minigeração distribuída estabeleceu regras para o sistema de compensação de energia elétrica, definindo modalidades, condições de acesso e regime de transição aplicável (BRASIL, 2022). A existência de marco legal reduz incerteza regulatória e viabiliza planejamento de investimento, tanto por parte de consumidores quanto por parte das concessionárias. Sua aplicação prática e seus efeitos distributivos entre classes de consumidores constituem objeto de análise que extrapola o escopo deste capítulo.

O armazenamento de energia ocupa posição particular nesse conjunto. Sua função técnica consiste em desacoplar geração e consumo no tempo, o que amplia a capacidade de integrar fontes com variabilidade intrínseca, permite postergar reforços de rede e oferece recurso para atendimento em contingência. A discussão sobre sistemas elétricos resilientes destaca que o valor do armazenamento não decorre apenas de sua capacidade nominal, mas de sua localização na rede, de sua coordenação com demais recursos e do arranjo de remuneração que torna sua operação economicamente sustentável (PAIXÃO; ABAIDE, 2026). Instalações de armazenamento sem coordenação operativa adequada podem produzir benefício local e efeito neutro ou adverso no conjunto do sistema.

A modernização das redes, frequentemente designada por vocabulário associado a redes inteligentes, consiste na incorporação de medição, comunicação, automação e capacidade analítica à operação dos sistemas de distribuição. Seus benefícios técnicos são identificáveis: localização mais precisa de faltas, redução do tempo de restabelecimento, melhor conhecimento do carregamento dos ativos, viabilização de resposta da demanda. Sua implementação depende, entretanto, de investimento significativo, de interoperabilidade entre equipamentos de fabricantes diversos, de tratamento adequado de segurança cibernética e de capacitação das equipes de operação. A ausência de qualquer desses elementos converte capacidade instalada em capacidade subutilizada.

A eletrificação do transporte introduz demanda adicional cuja característica principal não é o volume agregado, mas sua concentração temporal e espacial. Recarga simultânea em horário de pico produz efeito sobre carregamento de transformadores e perfis de tensão que difere substancialmente do efeito da mesma energia distribuída ao longo do dia. A gestão dessa demanda por meio de sinalização tarifária, controle de carga ou coordenação com armazenamento constitui, em si, um problema de engenharia de sistemas cuja

solução determina se a eletrificação do transporte representa oportunidade de melhor utilização dos ativos existentes ou fator de necessidade de reforço.

3.5 EFICIÊNCIA NO USO DE RECURSOS E REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS

A eficiência energética apresenta uma característica que a distingue das demais opções disponíveis: a energia não consumida não exige geração, transmissão, distribuição, ocupação territorial ou destinação de equipamentos ao final da vida útil. Sob critério de impacto ambiental por unidade de serviço prestado, medidas de eficiência tendem a apresentar desempenho superior ao de qualquer alternativa de suprimento. Sua adoção, entretanto, enfrenta obstáculos que não são de natureza técnica.

O primeiro obstáculo é a dispersão dos ganhos. Investimentos em eficiência produzem economia distribuída entre grande número de agentes, cada um com benefício individual modesto, o que dificulta a organização de interesse comparável ao dos setores de suprimento. O segundo é o descompasso de incentivos, situação na qual quem decide sobre o investimento não é quem paga a conta de energia, configuração comum em edificações locadas e em equipamentos especificados por construtores. O terceiro é a assimetria de informação sobre desempenho efetivo dos equipamentos ao longo da vida útil. O quarto é a preferência por decisões baseadas em custo de aquisição em detrimento de custo total de propriedade, questão que se examina adiante.

A instrumentação de sistemas oferece contribuição relevante nesse domínio, ao converter consumo em informação acionável. Medição desagregada por uso final permite identificar onde efetivamente se concentra o consumo, o que frequentemente contraria a percepção dos operadores. O valor dessas tecnologias depende, contudo, da existência de processos organizacionais capazes de converter dados em decisão, sem os quais a instrumentação produz volume de informação sem alteração de comportamento.

Em sistemas de abastecimento de água, a redução de perdas apresenta lógica análoga. Água tratada que não chega ao consumidor representa simultaneamente desperdício de recurso hídrico, de energia de bombeamento, de produtos químicos de tratamento e de capacidade instalada. A detecção de vazamentos por análise de pressão e vazão em setores isolados permite direcionar intervenção, mas a redução efetiva das perdas depende de reabilitação de redes deterioradas, atividade intensiva em capital e de execução lenta. Aqui se manifesta com clareza o padrão discutido ao longo deste capítulo: a instrumentação melhora o diagnóstico sem substituir a intervenção física.

3.6 CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, MATERIAIS E ECONOMIA CIRCULAR

O setor da construção concentra parcela significativa do consumo de materiais e da geração de resíduos. A abordagem convencional trata a edificação como produto entregue ao final da obra, com atenção concentrada no custo de construção. A perspectiva do ciclo de vida amplia o escopo para incluir a extração

e o processamento de materiais, o consumo durante a operação, as intervenções de manutenção e reforma, e a destinação ao final da vida útil.

Essa ampliação altera a hierarquia das decisões de projeto. Sob a ótica do custo de construção, soluções que reduzem investimento inicial são preferíveis. Sob a ótica do ciclo de vida, soluções que ampliam moderadamente o investimento inicial podem ser vantajosas quando reduzem substancialmente o consumo operacional ou a necessidade de intervenção futura. A norma brasileira de desempenho de edificações habitacionais estabelece requisitos e critérios relativos a desempenho estrutural, segurança contra incêndio, estanqueidade, desempenho térmico, acústico e lumínico, durabilidade e manutenibilidade, deslocando a avaliação da conformidade prescritiva para o desempenho verificável ao longo da vida útil de projeto (ABNT, 2013). A norma sobre manutenção de edificações, por sua vez, estabelece requisitos para o sistema de gestão de manutenção, incluindo a necessidade de programa e de registro das atividades realizadas (ABNT, 2012).

A economia circular oferece referencial mais amplo para essa discussão. Sua formulação propõe a substituição do fluxo linear de extração, produção, uso e descarte por arranjos nos quais materiais e componentes permanecem em circulação por meio de manutenção, reuso, recondicionamento e reciclagem, com projeto orientado desde a origem a viabilizar essas operações (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013). A análise conceitual do campo identificou, contudo, que o termo é empregado com definições heterogêneas e frequentemente reduzido à reciclagem, o que enfraquece a hierarquia de estratégias e desloca a atenção das operações de maior valor retido, como manutenção e reuso, para aquelas de menor valor (KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017). Contribuição analítica adicional observou que a relação entre economia circular e sustentabilidade não é de identidade, uma vez que arranjos circulares podem apresentar desempenho ambiental desfavorável conforme o balanço de energia e materiais envolvido nas operações de recirculação (GEISSDOERFER et al., 2017).

Do ponto de vista do projeto de engenharia, essa discussão traduz-se em estratégias identificáveis: prolongar a vida útil por meio de durabilidade e manutenibilidade, permitir a substituição de componentes sem destruição do conjunto, favorecer ligações desmontáveis em detrimento de uniões irreversíveis, documentar a composição dos materiais empregados e considerar a recuperação de componentes ao final da vida útil desde a fase de concepção (BOCKEN et al., 2016). Nenhuma dessas estratégias é tecnicamente inacessível. Sua adoção limitada decorre principalmente de critérios de contratação que avaliam propostas pelo preço de construção, sem consideração de custo de operação e manutenção.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece ordem de prioridade na gestão que coloca a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e o tratamento antes da disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, além de instituir a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (BRASIL, 2010). Aplicada ao setor da construção, essa hierarquia sugere que a reforma e a requalificação

de edificações existentes deveriam ser consideradas antes da demolição e reconstrução, comparação que raramente é realizada de forma explícita.

3.7 ADAPTAÇÃO DE ATIVOS DE LONGA VIDA ÚTIL A CONDIÇÕES AMBIENTAIS EM MUDANÇA

O dimensionamento de estruturas hidráulicas, sistemas de drenagem, obras de contenção e componentes de sistemas de energia apoia-se historicamente em análise estatística de séries históricas, sob a premissa de que a distribuição de probabilidade dos eventos extremos permanece estável ao longo do tempo. Avaliações científicas consolidadas indicam que essa premissa deixou de ser adequada para diversas variáveis climáticas em várias regiões, com alteração observada na frequência e na intensidade de eventos extremos (IPCC, 2023). A consequência técnica é que o período de retorno associado a um evento de determinada magnitude, calculado a partir de séries passadas, pode subestimar sua probabilidade futura de ocorrência.

Essa constatação apresenta dificuldade prática considerável. A incorporação de projeções climáticas ao dimensionamento exige lidar com incerteza substancialmente maior do que a associada à análise estatística convencional, e as projeções apresentam divergências entre modelos que se ampliam conforme se reduz a escala espacial considerada. A resposta metodológica que a literatura tem desenvolvido consiste em abandonar a busca por um valor único de projeto e adotar abordagens que avaliem o desempenho da solução sob um conjunto de trajetórias plausíveis, privilegiando alternativas que apresentem comportamento aceitável em todas elas.

Duas estratégias complementares merecem registro. A primeira é o projeto adaptativo, no qual a estrutura é concebida de modo a permitir ampliação futura de capacidade sem reconstrução, o que transfere parte da decisão para o momento em que a informação disponível será melhor. A segunda é a redundância funcional, que consiste em prover a mesma função por meios diversos, de modo que a falha de um deles não elimine o atendimento. Ambas as estratégias implicam custo adicional em relação ao dimensionamento mínimo, e sua adoção depende de que o critério de decisão considere o valor da flexibilidade, o que os métodos convencionais de avaliação econômica tendem a não fazer.

A adaptação de ativos existentes constitui problema distinto e mais difícil. Reforçar uma estrutura em operação, ampliar a capacidade de um sistema de drenagem implantado ou modificar o dimensionamento de componentes já instalados envolve custo unitário superior ao da solução equivalente adotada na fase de projeto, além de interferência na operação. A priorização dessas intervenções exige avaliação de criticidade que considere não apenas a probabilidade de falha, mas a consequência de sua ocorrência, incluindo efeitos sobre sistemas dependentes.

4 POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO, PREPARAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO

4.1 GESTÃO DE ATIVOS E MANUTENÇÃO BASEADA EM CONDIÇÃO

A gestão de ativos consiste na atividade coordenada de uma organização para obter valor de seus ativos ao longo do ciclo de vida, articulando objetivos organizacionais, decisões de investimento, operação, manutenção e renovação. A norma internacional sobre sistemas de gestão de ativos, cuja segunda edição foi publicada em 2024, estabelece requisitos para o estabelecimento, a implementação, a operação, a manutenção e a melhoria de um sistema de gestão voltado a essa finalidade (ISO, 2024). A edição vigente incorpora, entre suas alterações, tratamento explícito da tomada de decisão em gestão de ativos, deslocamento que reforça o argumento desenvolvido nesta seção: a contribuição principal desse referencial é obrigar a organização a explicitar os critérios com que decide, e não fornecer solução técnica. Sua contribuição principal não é técnica no sentido estrito, mas organizacional: ela exige que a organização explicita objetivos, critérios de decisão, responsabilidades e mecanismos de avaliação, tornando visíveis escolhas que frequentemente permanecem implícitas.

A evolução das políticas de manutenção pode ser descrita em três configurações. Na manutenção corretiva, a intervenção ocorre após a falha. Na manutenção preventiva sistemática, a intervenção ocorre em intervalos definidos, independentemente da condição observada. Na manutenção baseada em condição, a intervenção é acionada por indicadores que evidenciam degradação, obtidos por inspeção ou monitoramento contínuo. Cada configuração apresenta perfil distinto de custo e de risco, e a escolha adequada depende da criticidade do ativo, do modo de falha predominante e da observabilidade dos indicadores de degradação.

A instrumentação de ativos amplia a viabilidade da terceira configuração. Sensores de vibração, temperatura, corrente, pressão e deslocamento permitem acompanhar a evolução de indicadores associados a modos de falha conhecidos, e técnicas analíticas permitem identificar padrões que precedem a falha com antecedência útil. O desafio prático, nesse domínio, não está principalmente na obtenção dos dados, mas na sua integração aos processos decisórios de manutenção e na disponibilidade de equipes capazes de interpretá-los e agir, condição organizacional que a instrumentação não produz por si.

Duas advertências merecem registro. A primeira é que a manutenção baseada em condição não é universalmente superior. Para ativos de baixo custo, falha benigna e substituição simples, a manutenção corretiva permanece adequada, e a instrumentação representaria custo sem benefício proporcional. A segunda é que a antecipação da falha só produz valor se a organização dispuser de capacidade de intervir no intervalo identificado. Sistemas que geram alertas os quais a equipe não consegue atender produzem, ao longo do tempo, dessensibilização e desconfiança nos indicadores.

4.2 DIGITALIZAÇÃO DE ATIVOS E REPRESENTAÇÃO DA INFORMAÇÃO

A modelagem da informação da construção consiste na produção e no uso de representações digitais de ativos que integram geometria, propriedades dos componentes, relações entre elementos e informação relevante para as diversas fases do ciclo de vida. Sua contribuição documentada abrange a detecção antecipada de interferências entre sistemas, a melhoria da coordenação entre disciplinas de projeto, a extração consistente de quantitativos e a disponibilidade de informação estruturada para a fase de operação (SACKS et al., 2018).

No Brasil, a utilização dessa abordagem em obras e serviços de engenharia realizados direta ou indiretamente pelos órgãos e entidades da administração pública federal foi objeto de disciplina específica, com previsão de implantação progressiva (BRASIL, 2020). A existência da previsão normativa não assegura, por si, a obtenção dos benefícios esperados, que dependem de capacitação das equipes, de adequação dos processos de contratação e de definição clara dos requisitos de informação a serem entregues.

Um ponto merece atenção crítica. O valor da representação digital para a fase de operação depende de que a informação entregue ao final da obra corresponda ao que foi efetivamente executado e de que seja mantida atualizada ao longo da vida do ativo. Modelos que refletem o projeto e não a execução, ou que deixam de ser atualizados após as primeiras intervenções, convertem-se em documentação de valor decrescente. A manutenção da correspondência entre representação e realidade física exige processo organizacional continuado, não apenas ferramenta.

A expressão gêmeo digital tem sido empregada para designar representações mantidas em correspondência com o ativo físico por meio de dados operacionais, permitindo simulação de cenários e apoio à decisão. O grau de fidelidade e a utilidade dessas representações variam substancialmente conforme a aplicação, e a literatura técnica ainda apresenta heterogeneidade quanto ao que o termo designa. Cautela terminológica é recomendável: descrever como gêmeo digital um modelo tridimensional sem vínculo com dados operacionais amplia expectativa sem correspondência funcional.

4.3 CRITÉRIOS DE DECISÃO AO LONGO DO CICLO DE VIDA

A prática de contratação orientada predominantemente pelo menor preço de construção produz efeitos previsíveis sobre a qualidade e o custo total dos ativos. Soluções que reduzem investimento inicial ao custo de maior consumo operacional, menor durabilidade ou maior necessidade de manutenção são sistematicamente favorecidas quando o critério de avaliação não considera esses efeitos. O Quadro 1 organiza, em forma comparativa, os critérios associados a cada perspectiva de decisão. Trata-se de esquema analítico montado para efeito expositivo a partir das referências citadas, e não de instrumento validado ou de metodologia de avaliação econômica.

Quadro 1 – Critérios de decisão sob a perspectiva do investimento inicial e do ciclo de vida

Dimensão	Perspectiva do investimento inicial	Perspectiva do ciclo de vida
Horizonte considerado	Prazo da obra e da garantia	Vida útil de projeto do ativo
Custo avaliado	Aquisição e construção	Aquisição, operação, manutenção, renovação e destinação
Tratamento da durabilidade	Atendimento ao requisito normativo mínimo	Variável de decisão sujeita a otimização
Manutenibilidade	Não avaliada explicitamente	Requisito de projeto com efeito sobre custo futuro
Eficiência operacional	Considerada se exigida em edital	Componente central da avaliação econômica
Flexibilidade futura	Não valorada	Valorada como opção diante de incerteza
Destinação final	Fora do escopo	Considerada desde a concepção
Responsável pelo custo omitido	Operador do ativo, em período posterior	Internalizado na decisão

Fonte: elaboração do autor com base nas referências citadas.

A leitura do quadro deve considerar que a perspectiva do ciclo de vida não é sempre preferível em termos práticos. Sua aplicação exige estimativas de custo futuro cuja incerteza é considerável, capacidade institucional para elaborar e avaliar propostas sob esse critério, e disponibilidade orçamentária no momento do investimento, condição que restrições fiscais podem tornar inviável mesmo quando a análise indica vantagem. Reconhecer essas limitações é distinto de ignorar que a decisão baseada apenas no investimento inicial transfere custo para períodos e responsáveis futuros, com frequência sem que essa transferência seja explicitada.

5 DESAFIOS, RISCOS, LIMITES E CONDIÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO

O primeiro obstáculo é a condição do estoque existente de ativos. Décadas de manutenção diferida produzem passivo cuja regularização exige investimento que compete com a expansão da capacidade, em contexto de restrição orçamentária. A escolha entre ampliar e conservar é frequentemente apresentada como técnica, quando é distributiva: a expansão beneficia quem ainda não é atendido, a conservação beneficia quem já é atendido e depende da continuidade do serviço. Ambas as necessidades são legítimas, e a ausência de critério explícito de priorização tende a favorecer a alternativa politicamente mais visível.

O segundo é a disponibilidade de profissionais com formação adequada às competências exigidas. A gestão de ativos, a análise de ciclo de vida, a avaliação de desempenho sob incerteza climática e a integração de sistemas digitais a processos de manutenção requerem repertório que a formação convencional em engenharia contempla de modo desigual. Currículos organizados principalmente em torno

do projeto de obras novas produzem profissionais preparados para conceber e menos preparados para diagnosticar, conservar e adaptar. A correção dessa assimetria opera em prazo longo, dado que a alteração curricular só produz efeito no mercado após vários anos.

O terceiro é a fragmentação de responsabilidades ao longo do ciclo de vida. Projeto, construção, operação e manutenção são frequentemente atribuídos a agentes distintos, com contratos separados e horizontes temporais que não se sobrepõem. Nessa configuração, decisões tomadas na fase de projeto produzem consequências suportadas por quem não participou delas, sem mecanismo de retorno da informação. Arranjos contratuais que integram fases, quando adequadamente estruturados, atenuam esse problema, mas introduzem outros relacionados a concentração de mercado e a capacidade de fiscalização.

O quarto é a assimetria de capacidade técnica entre contratantes públicos e o mercado fornecedor. Especificar tecnicamente sistemas complexos, avaliar propostas de forma independente e fiscalizar execução exige quadros próprios cuja constituição foi comprometida, em muitos órgãos, por sucessivas reduções de estruturas técnicas. A terceirização integral dessa capacidade reproduz a assimetria em outra forma, dado que a avaliação da consultoria contratada exige competência análoga à que se pretendia suprir.

O quinto é o risco de que a digitalização seja tratada como substituto e não como complemento da intervenção física. Instrumentar um ativo deteriorado melhora o conhecimento sobre sua condição sem alterá-la. Sistemas de monitoramento produzem valor quando a organização dispõe de recursos para agir sobre o que detectam. Em contexto de restrição, a alocação de recursos escassos em monitoramento de ativos cuja intervenção não será financiada representa deslocamento de prioridade que exige justificativa explícita.

O sexto diz respeito à segurança cibernética dos sistemas de controle. A conexão de sistemas de supervisão e automação a redes de comunicação amplia capacidade operacional e superfície de exposição. Equipamentos de campo com longo ciclo de vida e capacidade computacional limitada apresentam dificuldade específica de atualização, e sua substituição não acompanha o ritmo de evolução das ameaças. Tratar segurança como requisito de projeto, com segmentação de redes, controle de acesso registrado e planos de resposta a incidentes, é substancialmente menos oneroso do que incorporá-la posteriormente.

A dimensão da responsabilidade profissional atravessa todos esses desafios. O código de ética profissional aplicável ao exercício das profissões abrangidas pelo sistema de fiscalização da engenharia e da agronomia estabelece deveres relacionados à segurança, ao interesse social e ao respeito ao meio ambiente, situando a atuação técnica em quadro que ultrapassa a relação contratual com o cliente (CONFEEA, 2002). Essa formulação normativa possui consequência prática nos momentos em que exigências de prazo, custo ou conveniência entram em conflito com requisitos de segurança ou com impactos socioambientais identificados. O exercício efetivo dessa responsabilidade depende de condições institucionais que a viabilizem, incluindo estabilidade funcional, canais internos para registro de

divergência técnica e proteção contra retaliação, elementos cuja ausência transforma o dever ético em ônus individual.

Uma limitação do próprio campo merece registro. Parcela substantiva da literatura sobre gestão de ativos, resiliência de infraestrutura e transição energética foi produzida em contextos caracterizados por alta cobertura de serviços, capacidade fiscal robusta e cadastros consolidados de ativos. Sua transposição para contextos com déficit de cobertura, restrição orçamentária estrutural e conhecimento incompleto sobre o próprio estoque de ativos exige mediação analítica que não pode ser presumida, e constitui agenda de investigação relevante.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo partiu da pergunta sobre quais transformações técnicas, profissionais e institucionais são necessárias para que a infraestrutura responda às demandas do futuro. A análise desenvolvida sustenta que essas transformações se concentram menos na incorporação de tecnologias específicas e mais na consolidação de práticas de gestão, critérios de decisão e competências profissionais que sustentem o desempenho dos sistemas ao longo de horizontes que excedem, com folga, os ciclos administrativos e contratuais usuais.

O argumento pode ser resumido em três proposições. A primeira é que a condição futura da infraestrutura será determinada principalmente pelo tratamento dado ao estoque existente, e não pela capacidade adicional construída. Ativos em operação representam a maior parte do serviço prestado, e sua deterioração progressiva por manutenção diferida produz perda de capacidade que a expansão precisa primeiro compensar antes de ampliar o atendimento. Reconhecer isso implica atribuir à conservação estatuto equivalente ao da expansão nos instrumentos de planejamento e nos critérios de avaliação de desempenho institucional.

A segunda é que a incorporação da perspectiva de ciclo de vida às decisões de projeto e contratação constitui a alteração de maior alcance entre as discutidas. Ela afeta simultaneamente durabilidade, eficiência operacional, manutenibilidade, adaptabilidade e destinação final, dimensões que os critérios baseados em investimento inicial tratam como externas. Sua adoção depende de capacidade técnica para elaborar e avaliar estimativas de custo futuro sob incerteza, condição que precisa ser construída e que não decorre da simples alteração de edital.

A terceira é que a adaptação de ativos de longa vida útil a condições ambientais em mudança exige abandono da premissa de estacionariedade que fundamenta boa parte dos métodos de dimensionamento em uso. A substituição dessa premissa por abordagens que avaliem desempenho sob múltiplas trajetórias plausíveis amplia a incerteza explicitamente considerada e reduz a aparência de precisão dos resultados, o

que representa ganho de honestidade metodológica ainda que produza desconforto na comunicação com contratantes acostumados a valores únicos de projeto.

Convém delimitar o alcance do que foi apresentado. Sendo ensaio teórico de base narrativa, o capítulo não estabelece a robustez agregada da evidência disponível, não examina sistemas concretos e expressa escolhas de recorte que outro autor faria diferentemente. As normas técnicas mencionadas foram referenciadas quanto ao seu objeto, sem reprodução de requisitos, procedimentos ou valores nelas estabelecidos, de modo que sua aplicação prática requer consulta aos documentos originais em suas versões vigentes. Nenhum dado quantitativo sobre condição de ativos, composição de matriz energética, índices de perdas ou custos de intervenção foi incorporado, opção que preserva a integridade factual do texto ao custo de reduzir sua especificidade empírica. O quadro apresentado constitui esquema comparativo destinado a organizar critérios de decisão, e não metodologia de avaliação econômica.

Três linhas de investigação decorrem do que foi discutido. A primeira é o exame das condições institucionais sob as quais critérios de ciclo de vida são efetivamente aplicados em contratações públicas de infraestrutura, distinguindo os casos em que produzem alteração da decisão daqueles em que operam como formalidade documental. A segunda é a análise de estratégias de priorização de intervenções de adaptação em estoques de ativos com informação incompleta sobre condição, situação que caracteriza boa parte dos sistemas em operação. A terceira é a investigação sobre arranjos de formação profissional continuada capazes de suprir, em prazo compatível com a necessidade, as competências associadas à gestão de ativos e à avaliação de desempenho sob incerteza climática.

Dito sem rodeios, a resiliência de um sistema de infraestrutura não se constrói no momento da obra, mas ao longo das décadas em que ele é operado, monitorado, conservado e progressivamente adaptado. Tecnologias contribuem para cada uma dessas atividades. Nenhuma delas as substitui, e nenhuma compensa a ausência das capacidades institucionais e profissionais que as sustentam.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5674**: manutenção de edificações: requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 55001:2024**: asset management: asset management system: requirements. 2. ed. Genebra: ISO, 2024.

BOCKEN, Nancy M. P. et al. Product design and business model strategies for a circular economy. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 33, n. 5, p. 308-320, 2016.

BRASIL. **Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997**. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo. Brasília, DF: Presidência da República, 1997.

BRASIL. **Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Brasília, DF: Presidência da República, 2001.

BRASIL. **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009**. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima. Brasília, DF: Presidência da República, 2009.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF: Presidência da República, 2010.

BRASIL. **Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020**. Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizados pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal. Brasília, DF: Presidência da República, 2020.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída e o Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Brasília, DF: Presidência da República, 2022.

CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA (CONFEA). **Resolução nº 1.002, de 26 de novembro de 2002**. Adota o Código de Ética Profissional da Engenharia, da Arquitetura, da Agronomia, da Geologia, da Geografia e da Meteorologia. Brasília, DF: CONFEA, 2002.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy**: economic and business rationale for an accelerated transition. Cowes: Ellen MacArthur Foundation, 2013.

GEISSDOERFER, Martin et al. The circular economy: a new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 757-768, 2017.

GEELS, Frank W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. **Research Policy**, v. 31, n. 8-9, p. 1257-1274, 2002.

HOLLNAGEL, Erik; WOODS, David D.; LEVESON, Nancy (org.). **Resilience engineering**: concepts and precepts. Aldershot: Ashgate, 2006.

HUGHES, Thomas P. **Networks of power**: electrification in Western society, 1880-1930. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1983.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2023**: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Genebra: IPCC, 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Net zero by 2050**: a roadmap for the global energy sector. Paris: IEA, 2021.

KIRCHHERR, Julian; REIKE, Denise; HEKKERT, Marko. Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p. 221-232, 2017.

LEVESON, Nancy G. **Engineering a safer world: systems thinking applied to safety**. Cambridge: MIT Press, 2011.

PAIXÃO, Joelson Lopes da. Energia elétrica e desafios ambientais: análise crítica dos impactos ecológicos e estratégias para a sustentabilidade no setor energético. **Revista Multiatual**, Formiga, v. 7, p. 57-71, 2026. ISSN 2675-4592. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19223884>. Acesso em: 17 ago. 2026.

PAIXÃO, Joelson Lopes da; ABAIDE, Alzenira da Rosa. Sistemas elétricos resilientes e segurança energética: uma análise integrada a partir de pesquisas em microrredes, veículos elétricos e fontes renováveis. **Revista Tópicos**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 29, p. 1-18, 2026. ISSN 2965-6672. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18286093>. Acesso em: 17 ago. 2026.

PERROW, Charles. **Normal accidents: living with high-risk technologies**. New York: Basic Books, 1984.

SACKS, Rafael et al. **BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers**. 3. ed. Hoboken: Wiley, 2018.

SMIL, Vaclav. **Energy transitions: history, requirements, prospects**. Santa Barbara: Praeger, 2010.

SOVACOOOL, Benjamin K. How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions. **Energy Research & Social Science**, v. 13, p. 202-215, 2016.

VAUGHAN, Diane. **The Challenger launch decision: risky technology, culture, and deviance at NASA**. Chicago: University of Chicago Press, 1996.

WOODS, David D. Four concepts for resilience and the implications for the future of resilience engineering. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 141, p. 5-9, 2015.

CAPÍTULO 4

O CAMPO CONECTADO: AUTOMAÇÃO, AGRICULTURA DE PRECISÃO E SUSTENTABILIDADE RURAL

THE CONNECTED COUNTRYSIDE: AUTOMATION, PRECISION AGRICULTURE AND RURAL SUSTAINABILITY

 <https://doi.org/10.63330/livroautoral912026-004>

Filipe Molinar Machado

Doutor em Engenharia Agrícola
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI
E-mail: fmacmec@gmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0430684898594055>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3874-3569>

Alessandro Ramos Carloni

Mestre em Desenvolvimento Regional
E-mail: alessandro.carloni@cps.sp.gov.br
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4731983135699886>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3734-0469>

Joelson Lopes da Paixão

Mestre e Bacharel em Engenharia Elétrica pela UFSM. Especialista em Educação e em áreas relacionadas à Engenharia Elétrica. Pesquisador na UFSM.
E-mail: joelson.paixao@hotmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6907289379766915>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8874-5151>

Márcia Gabellini

Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Geografia do Pontal (PPGEP), da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Especialista em Direito Administrativo, com ênfase em Compras Públicas, e em Direito Agrário.
E-mail: marcia.gabellini@ufu.br
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/2773306973263699>
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0185-6156>

Ana Paula Gatto da Conceição

Mestre em Engenharia de Produção. Universidade Estadual de Maringá
E-mail: anapgc16@gmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7324649313502786>
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8169-6292>

Resumo

Este capítulo analisa como automação, posicionamento por satélite, sensoriamento e processamento de dados vêm transformando a produção agropecuária e a gestão das propriedades rurais, examinando simultaneamente as possibilidades técnicas e as condições que determinam quem efetivamente as acessa. O problema investigado decorre da distância entre o potencial demonstrado dessas tecnologias em

condições controladas e os resultados observados em contextos produtivos heterogêneos, distância que se explica menos por limitações de desempenho dos equipamentos do que por restrições de custo, conectividade, escala, capacitação e assistência técnica. A pergunta norteadora indaga como utilizar inovação para elevar eficiência e qualidade no campo sem ampliar desigualdades ou comprometer a sustentabilidade ambiental. A investigação é qualitativa e toma a forma de ensaio teórico, apoiado em revisão narrativa crítica de literatura das ciências agrárias, das geotecnologias, dos estudos sociais da agricultura digital e do debate sobre sustentabilidade dos sistemas alimentares. O argumento central sustenta que a transformação tecnológica do campo somente será socialmente positiva quando combinar produtividade, uso responsável dos recursos, capacitação profissional, acesso tecnológico e inclusão de diferentes perfis de produtores. A discussão percorre os fundamentos do manejo diferenciado, a distinção técnica entre posicionamento por sistemas específicos e por constelações múltiplas, o sensoriamento remoto e proximal, a automação de operações, a governança dos dados agrícolas, a eficiência no uso de água e insumos, a rastreabilidade e as barreiras de acesso. Conclui-se que a distribuição dos benefícios da digitalização agrícola depende de arranjos de assistência técnica, conectividade e governança de dados que não decorrem da disponibilidade dos equipamentos.

Palavras-chave: Agricultura de precisão; Geotecnologias; Agricultura digital; Governança de dados agrícolas; Sustentabilidade rural.

Abstract

This chapter analyses how automation, satellite positioning, sensing and data processing have been transforming agricultural production and farm management, examining both the technical possibilities and the conditions that determine who actually gains access to them. The problem addressed arises from the gap between the demonstrated potential of these technologies under controlled conditions and the results observed across heterogeneous productive contexts, a gap explained less by equipment performance than by constraints of cost, connectivity, scale, training and technical advisory services. The guiding question asks how innovation can raise efficiency and quality in agriculture without widening inequality or compromising environmental sustainability. The inquiry is qualitative and takes the form of a theoretical essay, grounded in a critical narrative review of scientific, technical, normative and documentary literature drawn from agricultural sciences, geotechnologies, social studies of digital agriculture and the debate on the sustainability of food systems. The central argument holds that the technological transformation of agriculture will only be socially positive when it combines productivity, responsible use of resources, professional training, technological access and the inclusion of different producer profiles. The discussion covers the foundations of site-specific management, the technical distinction between single-system and

multi-constellation positioning, remote and proximal sensing, the automation of operations, agricultural data governance, efficiency in water and input use, traceability, and barriers to access. It concludes that the distribution of the benefits of agricultural digitalisation depends on arrangements for technical advisory services, connectivity and data governance that do not follow from equipment availability.

Keywords: Precision agriculture; Geotechnologies; Digital agriculture; Agricultural data governance; Rural sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A imagem corrente da modernização agrícola combina máquinas de grande porte operando com orientação automática, aeronaves não tripuladas sobrevoando lavouras e painéis de controle exibindo mapas coloridos de variabilidade do talhão. Essa imagem corresponde a uma realidade efetivamente existente e tecnicamente notável. Ela corresponde, entretanto, a uma parcela do universo produtivo, e sua difusão como retrato do campo contemporâneo produz um efeito analítico problemático: sugere que a transformação tecnológica já ocorreu de modo generalizado e que as questões pendentes seriam de refinamento, quando a evidência disponível indica que a adoção é desigual, seletiva e frequentemente parcial mesmo entre produtores que dispõem de recursos para investir.

Essa observação não constitui crítica às tecnologias envolvidas. O manejo diferenciado por unidade de área tem fundamento agrônômico sólido, apoiado no reconhecimento de que a variabilidade espacial de atributos do solo, de disponibilidade hídrica e de pressão de pragas produz respostas distintas ao mesmo tratamento em pontos distintos do mesmo talhão. Tratar essa variabilidade como informação em vez de ruído permite ajustar a aplicação de insumos, o que pode simultaneamente reduzir custo e reduzir carga ambiental. O fundamento é robusto. A questão examinada neste capítulo é o que acontece entre o fundamento e o resultado.

Três elementos condicionam essa passagem. O primeiro é econômico. Sistemas de agricultura de precisão exigem investimento em equipamento, em serviços de análise e em tempo de aprendizagem, e o retorno depende do valor da produção por hectare, da magnitude da variabilidade existente na área e da capacidade de converter a recomendação em operação efetiva. Áreas pequenas, culturas de menor valor agregado e talhões relativamente homogêneos podem não apresentar retorno que justifique o investimento, e isso é conclusão técnica, não deficiência do produtor.

O segundo é de infraestrutura. Boa parte das aplicações depende de conectividade para transferência de dados, de energia elétrica confiável e de serviços de correção de posicionamento. A disponibilidade desses elementos no meio rural é desigual, e a desigualdade tende a coincidir com aquela já existente na

distribuição de renda, de assistência técnica e de acesso a crédito. Tecnologias que pressupõem infraestrutura produzem, quando aplicadas sobre infraestrutura desigual, resultados desiguais.

O terceiro é de conhecimento. Equipamentos geram dados; dados não geram decisões. A conversão de mapas de produtividade, imagens espectrais e séries de sensores em recomendação agrônômica exige interpretação que combina conhecimento técnico e conhecimento local sobre a área específica. Onde a assistência técnica é escassa, sistemas sofisticados tendem a ser subutilizados, operando com configurações padrão que não capturam a variabilidade que justificaria seu emprego.

O problema examinado adiante decorre da articulação desses três elementos com uma quarta dimensão, de natureza distinta: a produção de dados sobre as propriedades rurais cria ativos informacionais cujo controle, cuja circulação e cujo uso não estão adequadamente regulados na maior parte dos contextos. Informações sobre produtividade histórica, condição de solo, práticas de manejo e resultado econômico possuem valor comercial que ultrapassa largamente sua utilidade operacional para o produtor que as gerou.

A pergunta norteadora é, portanto: **como utilizar inovação para elevar eficiência e qualidade no campo sem ampliar desigualdades ou comprometer a sustentabilidade ambiental?** O objetivo é analisar como automação, geolocalização, sensoriamento e inteligência de dados transformam a produção agropecuária e a gestão das propriedades rurais, considerando simultaneamente possibilidades, condições de acesso e implicações ambientais.

O que se defende é que a transformação tecnológica do campo somente será socialmente positiva quando combinar produtividade, uso responsável dos recursos, capacitação profissional, acesso tecnológico e inclusão de diferentes perfis de produtores. Cada um desses elementos depende de arranjos institucionais que não se estabelecem espontaneamente pela difusão de mercado.

A relevância dessa discussão ultrapassa as ciências agrárias. Profissionais de tecnologia desenvolvem sistemas cujas premissas sobre o usuário determinam quem consegue utilizá-los. Gestores públicos definem políticas de crédito, extensão e conectividade que condicionam a distribuição do acesso. Profissionais do direito analisam a titularidade de dados gerados em propriedades rurais e a responsabilidade por recomendações automatizadas. Economistas avaliam efeitos sobre estrutura produtiva e concentração fundiária. Engenheiros projetam sistemas de irrigação, automação e comunicação adaptados a condições de campo. A agricultura digital é objeto genuinamente compartilhado.

A exposição está assim distribuída. Após o percurso metodológico, a fundamentação teórica examina os fundamentos do manejo diferenciado, a base técnica dos sistemas de posicionamento por satélite, o sensoriamento remoto e proximal, a automação de operações, a governança dos dados agrícolas, a eficiência no uso de água e insumos, a rastreabilidade e a heterogeneidade dos produtores. A quarta seção discute possibilidades de aplicação relacionadas à adoção progressiva, ao georreferenciamento e à

capacitação. A quinta discute os entraves e as condições de viabilidade. Ao final, a pergunta inicial é retomada e os limites da análise, explicitados.

2 PERCURSO METODOLÓGICO

A investigação é qualitativa e assume a forma de ensaio teórico. Apoia-se em revisão narrativa crítica de literatura científica, técnica, normativa e documental pertinente ao problema. Não se cumpriram os protocolos próprios de revisões sistemáticas, de escopo ou integrativas. Tampouco se trata de investigação empírica sobre propriedades, culturas, sistemas produtivos ou tecnologias específicas.

A argumentação apoia-se em quatro conjuntos de fontes. O primeiro reúne a literatura agrônômica sobre manejo diferenciado, sensoriamento aplicado à agricultura e avaliação de adoção de tecnologias de precisão. O segundo compreende a literatura técnica sobre posicionamento por satélite e geotecnologias. O terceiro abrange os estudos sociais sobre agricultura digital, que examinam efeitos distributivos, assimetrias de poder na cadeia e questões relativas ao controle de dados. O quarto agrega documentos institucionais e normativos, incluindo relatórios de organismos internacionais sobre sistemas alimentares e legislação brasileira relativa a recursos hídricos, proteção da vegetação nativa, georreferenciamento de imóveis rurais, agricultura familiar, produtos fitossanitários e proteção de dados pessoais.

A seleção observou a pertinência ao problema formulado, a autoridade reconhecida das fontes em seus campos, a atualidade quando o tema exigia informação contemporânea e a aderência ao objetivo do capítulo. Foram deliberadamente incorporadas contribuições que divergem quanto ao alcance dos ganhos atribuídos às tecnologias de precisão, dado que a literatura apresenta controvérsia substantiva sobre a magnitude e a generalidade desses ganhos. A transcrição literal foi substituída por paráfrase responsável nos casos em que a paginação exata não pôde ser conferida.

Três restrições exigem menção expressa. A primeira é a ausência de valores quantitativos sobre redução de insumos, ganhos de produtividade, taxas de adoção ou retorno econômico. A literatura reporta resultados que variam substancialmente conforme cultura, região, escala, tipo de solo e configuração do sistema, de modo que a citação de números fora desse contexto produziria aparência de generalidade sem sustentação. A segunda é que as normas legais mencionadas foram referenciadas quanto ao seu objeto e à sua função, sem reprodução de requisitos, prazos ou procedimentos nelas estabelecidos, cuja aplicação exige consulta aos textos vigentes. A terceira é que as observações sobre padrões de adoção e sobre efeitos distributivos derivam da literatura consultada e não de verificação direta em contextos determinados. As proposições valem como leitura possível, sujeita a contestação, e não são generalizáveis a qualquer sistema produtivo ou território.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E DISCUSSÃO CRÍTICA

3.1 DO TRATAMENTO UNIFORME AO MANEJO DIFERENCIADO

A agricultura mecanizada consolidou-se sobre uma premissa operacional de uniformidade: o talhão é tratado como unidade homogênea, e insumos são aplicados em taxa constante ao longo de toda a área. Essa premissa nunca correspondeu à realidade agronômica, mas era compatível com a tecnologia disponível, uma vez que variar a aplicação exigiria conhecer a variabilidade e dispor de equipamento capaz de responder a ela em movimento.

A agricultura de precisão consiste, em sua formulação básica, no reconhecimento dessa variabilidade e no ajuste do manejo às condições locais dentro da área. Revisões que consolidaram o campo caracterizam a abordagem como um conjunto de tecnologias e práticas voltadas a identificar variabilidade espacial e temporal em sistemas agrícolas e a responder a ela por meio de intervenções diferenciadas, articulando aquisição de dados, análise e atuação em campo (ZHANG; WANG; WANG, 2002). A proposição fundamental é que aplicar a dose adequada no local adequado tende a produzir resultado superior à aplicação da dose média em toda a área, tanto em termos econômicos quanto ambientais.

O argumento de que essa abordagem contribui para a segurança alimentar apoia-se na observação de que a ampliação da produção por meio de expansão de área encontra limites ambientais crescentes, o que desloca a atenção para o aumento da eficiência de uso dos recursos nas áreas já cultivadas (GEBBERS; ADAMCHUK, 2010). Esse deslocamento é consistente com a formulação de intensificação sustentável, que propõe elevar a produção sem ampliação proporcional do uso de terra, água e insumos, e sem transferência de impacto para outros territórios (TILMAN et al., 2011). A discussão sobre segurança alimentar global identificou que o desafio combina aumento de produção, redução de perdas ao longo da cadeia, alteração de padrões de consumo e melhoria da governança dos sistemas alimentares, de modo que soluções concentradas exclusivamente na produtividade tendem a ser insuficientes (GODFRAY et al., 2010).

Contribuições posteriores acrescentaram uma advertência relevante ao debate sobre intensificação. A proposição de que sistemas agrícolas necessitam de redesenho, e não apenas de otimização de práticas existentes, sustenta que ganhos duradouros dependem da reconfiguração dos processos ecológicos que sustentam a produção, incluindo diversificação, manejo biológico e recuperação da funcionalidade do solo (PRETTY, 2018). A perspectiva agroecológica desenvolveu essa linha de modo mais amplo, propondo a análise dos sistemas produtivos como agroecossistemas cujas propriedades emergem de interações ecológicas, e não como conjuntos de fatores de produção independentes (ALTIERI, 1995; GLIESSMAN, 2015). A relação entre essa perspectiva e as tecnologias de precisão não é necessariamente de oposição: informação detalhada sobre variabilidade pode servir tanto ao ajuste fino da aplicação de insumos quanto

ao manejo diferenciado de práticas de conservação. O que a comparação evidencia é que a tecnologia não determina o modelo produtivo, e que o mesmo instrumento pode servir a orientações distintas.

3.2 POSICIONAMENTO POR SATÉLITE: PRECISÃO CONCEITUAL E PRECISÃO OPERACIONAL

O vocabulário corrente emprega a sigla GPS como designação genérica para posicionamento por satélite, o que constitui imprecisão técnica com consequências práticas. O Sistema de Posicionamento Global é um sistema específico, operado pelos Estados Unidos, e integra um conjunto mais amplo designado por sistemas globais de navegação por satélite, que abrange também constelações operadas por outros países, além de sistemas regionais e de aumentação. A designação genérica adequada é GNSS, e a distinção não é apenas terminológica: receptores capazes de utilizar múltiplas constelações dispõem de maior número de satélites visíveis, o que melhora a disponibilidade e a qualidade da solução de posicionamento, particularmente em condições de obstrução parcial do horizonte, situação comum em áreas com relevo acidentado ou vegetação arbórea (HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2008).

A qualidade do posicionamento obtido depende, além do número de satélites, do método empregado. O posicionamento por ponto simples, que utiliza um único receptor sem correções externas, apresenta incerteza compatível com aplicações de navegação, mas insuficiente para operações que exigem repetibilidade entre passadas. Métodos diferenciais e relativos, que empregam correções obtidas de estações de referência, reduzem substancialmente a incerteza, e técnicas baseadas na observação da fase da portadora com solução de ambiguidades permitem alcançar níveis compatíveis com orientação automática de máquinas e com agricultura de linhas. A literatura técnica em língua portuguesa consolidou a descrição desses métodos, de suas fontes de erro e de suas condições de aplicação, incluindo os efeitos da refração atmosférica, da geometria da constelação e do multicaminho sobre a qualidade do resultado (MONICO, 2008).

Essa distinção tem consequência direta sobre expectativas. Aplicações que exigem repetibilidade centimétrica dependem de infraestrutura de correção, seja por rede de estações de referência, seja por serviços comerciais de correção por satélite, e essa infraestrutura tem cobertura geográfica desigual e custo recorrente. Anunciar precisão sem especificar o método e as condições em que ela é obtida é prática comercial comum que produz frustração operacional. A avaliação técnica adequada de um sistema de posicionamento requer a explicitação do método, da fonte de correção, da disponibilidade esperada e da incerteza associada.

O georreferenciamento de imóveis rurais constitui aplicação distinta, na qual o objeto não é a operação agrícola, mas a definição da geometria da propriedade para fins de registro. No Brasil, a exigência de identificação do imóvel rural por meio de memorial descritivo com vértices georreferenciados ao sistema

geodésico nacional foi estabelecida em legislação específica, integrando o processo de regularização e o cadastro nacional de imóveis rurais (BRASIL, 2001). Trata-se de aplicação com requisitos de exatidão e de procedimento próprios, executada por profissional habilitado, e que não se confunde com o posicionamento empregado na condução de operações de campo.

3.3 SENSORIAMENTO REMOTO E PROXIMAL

A obtenção de informação sobre a condição da lavoura sem contato direto apoia-se na resposta espectral da vegetação, que varia conforme conteúdo de pigmentos, estrutura foliar, teor de água e presença de estresse. A partir dessa resposta, índices espectrais permitem inferir vigor vegetativo, e séries temporais desses índices permitem acompanhar o desenvolvimento da cultura e identificar áreas com comportamento anômalo.

A revisão sobre o desenvolvimento do sensoriamento remoto aplicado à agricultura de precisão documentou avanços substantivos em resolução espacial, espectral e temporal, ao mesmo tempo em que identificou lacunas persistentes relacionadas à conversão de dados espectrais em recomendação agrônômica quantitativa, à distinção entre causas diversas que produzem resposta espectral semelhante e à validação dos modelos em condições distintas daquelas em que foram calibrados (MULLA, 2013). Essas lacunas permanecem relevantes: um índice que indica redução de vigor não identifica, por si, se a causa é deficiência nutricional, restrição hídrica, compactação, ataque de praga ou doença, e a intervenção adequada difere radicalmente conforme a causa.

Plataformas distintas apresentam perfis complementares. Sensores orbitais oferecem cobertura ampla e revisita regular, com resolução espacial que varia conforme o sistema e sujeição à cobertura de nuvens. Aeronaves remotamente pilotadas oferecem resolução espacial superior e flexibilidade de programação, com limitação de área coberta por voo e exigência de conformidade regulatória. Sensores instalados em máquinas ou fixos em campo oferecem observação contínua com cobertura pontual. A escolha entre plataformas depende do fenômeno a observar, da escala relevante e da frequência necessária, e não há hierarquia geral entre elas.

O monitoramento de rebanhos apresenta lógica análoga com objeto distinto. Dispositivos de identificação e sensores de atividade permitem acompanhar deslocamento, comportamento alimentar e indicadores fisiológicos, com aplicações em detecção precoce de alterações de saúde e em manejo reprodutivo. A viabilidade dessas aplicações depende de autonomia energética dos dispositivos, de robustez em condições de campo e de infraestrutura de comunicação em área rural, condições cuja disponibilidade varia consideravelmente.

3.4 AUTOMAÇÃO DE MÁQUINAS E OPERAÇÕES

A orientação automática de máquinas foi, historicamente, a primeira aplicação de posicionamento por satélite a alcançar difusão significativa na agricultura, e as razões desse pioneirismo são instrutivas. Seus benefícios são imediatamente perceptíveis pelo operador, incluem redução de sobreposição e de falhas entre passadas, permitem operação em condições de baixa visibilidade e reduzem fadiga em jornadas prolongadas. O retorno é atribuível de modo relativamente direto, o que facilita a decisão de investimento.

Aplicações posteriores apresentam perfil distinto. A aplicação em taxa variável exige, além do equipamento de atuação, um mapa de prescrição cuja elaboração depende de amostragem adequada, de análise laboratorial, de modelo agrônomico de recomendação e de conhecimento sobre a área. A cadeia de valor é mais longa, e a atribuição do resultado é mais difícil, uma vez que o efeito da aplicação diferenciada se confunde com variações climáticas e com outros fatores de manejo. Essa diferença ajuda a explicar por que a adoção de orientação automática precedeu e superou a adoção de aplicação diferenciada em diversos contextos.

A avaliação da adoção de tecnologias de precisão constitui, aliás, campo em que a literatura recomenda cautela específica. Análise dedicada ao tema observou que afirmações amplamente difundidas sobre taxas de adoção frequentemente não distinguem entre tecnologias com perfis muito distintos, agregando sob o mesmo rótulo desde receptores de navegação até sistemas completos de manejo diferenciado, o que produz números não comparáveis entre estudos e entre regiões (LOWENBERG-DEBOER; ERICKSON, 2019). A recomendação metodológica derivada é que a discussão sobre adoção especifique a tecnologia considerada e o critério empregado.

Sistemas com maior grau de automação, incluindo operação com supervisão remota, encontram-se em estágios distintos de maturidade conforme a operação e a cultura. A discussão sobre inteligência artificial aplicada à engenharia e a ambientes produtivos automatizados indica que a integração entre percepção, decisão e atuação em ambiente não estruturado apresenta desafios substancialmente maiores do que em ambiente controlado, envolvendo variabilidade das condições, requisitos de segurança e necessidade de supervisão humana sobre decisões consequentes (PAIXÃO, 2026). O ambiente agrícola é, por natureza, não estruturado, o que situa boa parte dessas aplicações em estágio de desenvolvimento e não de operação consolidada.

3.5 DADOS AGRÍCOLAS: GERAÇÃO, CONTROLE E ASSIMETRIA

A operação de máquinas instrumentadas e de sistemas de monitoramento gera registros detalhados sobre a propriedade: produtividade por ponto, condição do solo, práticas de manejo, consumo de insumos, desempenho operacional e resultado econômico. Esses registros possuem utilidade direta para o produtor e valor agregado substancialmente maior para quem consegue reuni-los em escala.

A análise sobre dados em larga escala aplicados à agricultura identificou que o campo se organiza em torno de plataformas que integram dados de origem diversa e que a posição ocupada nessa integração confere vantagem informacional considerável, com implicações sobre poder de barganha ao longo da cadeia, sobre desenvolvimento de produtos e sobre a distribuição do valor gerado (WOLFERT et al., 2017). A discussão sobre as implicações éticas dessa configuração observou que a agregação de dados de numerosas propriedades permite inferências sobre oferta agregada, condições de safra e comportamento de mercado que não estão disponíveis aos produtores individuais que geraram os dados, criando assimetria informacional com efeitos econômicos concretos (CARBONELL, 2016).

Análises complementares argumentaram que a definição do que constitui um problema agrícola relevante tem sido crescentemente influenciada pelos atores capazes de processar dados em escala, com risco de que sistemas produtivos e perfis de produtor que não geram dados nesse formato se tornem menos visíveis para o desenvolvimento tecnológico e para a formulação de política (BRONSON; KNEZEVIC, 2016). A revisão das ciências sociais sobre agricultura digital sintetizou preocupações relativas a concentração de mercado, dependência tecnológica, transformação das relações de assistência técnica e efeitos sobre autonomia dos produtores, observando simultaneamente que a evidência empírica sobre esses efeitos ainda é limitada e desigualmente distribuída entre regiões e sistemas produtivos (KLERKX; JAKKU; LABARTHE, 2019). Estudos sobre a dimensão política dessas tecnologias identificaram que os efeitos sobre estrutura produtiva dependem fortemente de arranjos institucionais preexistentes, e não decorrem de propriedades intrínsecas das ferramentas (ROTZ et al., 2019).

No Brasil, dados relativos a pessoa natural identificada ou identificável submetem-se ao regime da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais, que estabelece fundamentos, princípios e bases legais para o tratamento (BRASIL, 2018). Boa parte dos dados agronômicos, contudo, refere-se a área e a operação, e não diretamente a pessoa, o que os situa em zona cuja disciplina jurídica é menos clara. Contratos de fornecimento de equipamento e de serviços digitais frequentemente estabelecem condições de uso e compartilhamento cujas implicações não são evidentes no momento da contratação. A recomendação prática que decorre dessa situação é que a leitura atenta das cláusulas relativas a dados integre a avaliação da aquisição, com atenção a titularidade, finalidades de uso, compartilhamento com terceiros, agregação e portabilidade em caso de troca de fornecedor.

3.6 USO EFICIENTE DE ÁGUA, FERTILIZANTES E PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS

A agricultura responde por parcela expressiva da retirada de água doce em escala global, e avaliações institucionais indicam que sistemas de terra e água que sustentam a produção alimentar enfrentam pressão crescente decorrente da combinação entre demanda, degradação e variabilidade climática (FAO, 2021). A gestão da irrigação orientada por dados de umidade do solo, demanda

evapotranspirativa e estágio fenológico permite ajustar a lâmina aplicada às necessidades efetivas da cultura, o que pode reduzir consumo e melhorar a uniformidade de distribuição.

Uma advertência analítica é necessária. Ganhos de eficiência no uso da água em uma unidade produtiva não se traduzem automaticamente em redução de consumo em escala de bacia hidrográfica. A literatura sobre gestão de recursos hídricos documenta que ganhos de eficiência podem ser acompanhados de expansão da área irrigada ou de intensificação do uso, resultando em consumo agregado igual ou superior. A avaliação do efeito de medidas de eficiência exige, portanto, escala espacial adequada e consideração das respostas de comportamento que elas induzem. No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos estabelece a bacia hidrográfica como unidade territorial de implementação e institui instrumentos de gestão que incluem outorga de direito de uso e cobrança, arranjo que reconhece a necessidade de coordenação em escala superior à da propriedade (BRASIL, 1997).

Quanto a fertilizantes, a aplicação diferenciada apoia-se na variabilidade da fertilidade do solo e no princípio de ajustar a dose à necessidade local. Além do efeito econômico, a redução de excesso de aplicação atua sobre uma externalidade ambiental reconhecida, uma vez que nutrientes não absorvidos podem ser transportados para corpos hídricos. A efetividade dessa abordagem depende criticamente da qualidade da amostragem que fundamenta o mapa de fertilidade, etapa cujo custo e cujo trabalho tendem a ser subestimados na avaliação inicial do investimento.

Quanto a produtos fitossanitários, a aplicação localizada, orientada por detecção de plantas daninhas ou por mapeamento de focos, permite reduzir a área tratada em relação à aplicação em área total. A maturidade dessas tecnologias varia conforme cultura, tipo de infestação e condição de campo. No Brasil, a pesquisa, a experimentação, a produção, o registro e a fiscalização de produtos fitossanitários e afins são disciplinados por legislação específica, que estabelece competências dos órgãos federais responsáveis pelos aspectos agrônômicos, sanitários e ambientais (BRASIL, 2023). A avaliação do efeito ambiental de estratégias de aplicação localizada requer consideração não apenas do volume aplicado, mas do princípio ativo empregado, da frequência de aplicação e do desenvolvimento de resistência nas populações-alvo.

A discussão sobre meio ambiente, sustentabilidade e desenvolvimento em sociedades em transformação registra que a avaliação de práticas produtivas quanto à sua sustentabilidade exige considerar simultaneamente dimensões ambientais, sociais e econômicas, evitando que ganhos em uma delas sejam apresentados como resultado global quando ocorrem à custa das demais (SOUZA et al., 2026). Aplicada ao caso agrícola, essa orientação sugere cautela diante de avaliações que reportam exclusivamente redução de insumo por unidade produzida sem examinar efeitos sobre solo, biodiversidade, recursos hídricos e condições de trabalho.

3.7 RASTREABILIDADE, LOGÍSTICA E COORDENAÇÃO DA CADEIA

A capacidade de identificar a origem, o percurso e as condições de produção de um lote atende a finalidades distintas: segurança sanitária, atendimento a requisitos de mercados importadores, verificação de conformidade ambiental e diferenciação comercial. Sistemas de rastreabilidade combinam identificação de unidades, registro de eventos ao longo da cadeia e mecanismos de verificação da integridade desses registros.

A efetividade desses sistemas depende de dois elementos frequentemente subestimados. O primeiro é a qualidade do registro na origem: a rastreabilidade de um percurso é limitada pela confiabilidade do primeiro registro, e sistemas sofisticados de acompanhamento não corrigem informação inicial incorreta. O segundo é a existência de verificação independente, sem a qual o sistema documenta declarações em vez de fatos. Tecnologias que asseguram a imutabilidade de registros protegem contra alteração posterior, o que é distinto de assegurar que o registro original correspondia à realidade.

No Brasil, a legislação de proteção da vegetação nativa instituiu registro público eletrônico de âmbito nacional com a finalidade de integrar informações ambientais das propriedades e posses rurais, compondo base de dados para controle, monitoramento e planejamento ambiental e econômico (BRASIL, 2012). A existência dessa base cria interface entre conformidade ambiental e acesso a crédito e a mercados, o que amplia a relevância prática do georreferenciamento e da documentação das áreas.

A perspectiva sobre agricultura digital orientada ao desenho de sistemas sustentáveis sugere que a combinação entre registro detalhado de práticas e modelagem de resposta pode servir à avaliação de desempenho ambiental em escala de propriedade, viabilizando mecanismos de remuneração por resultado e não apenas por prática adotada (BASSO; ANTLE, 2020). Trata-se de possibilidade em desenvolvimento, cuja viabilidade depende de métodos de verificação confiáveis e de arranjos institucionais que ainda estão sendo construídos.

3.8 HETEROGENEIDADE DOS PRODUTORES E BARREIRAS DE ACESSO

A discussão sobre adoção tecnológica no meio rural frequentemente opera com a categoria genérica de produtor, o que oculta diferenças determinantes. Escala da área, valor da produção por hectare, disponibilidade de capital, acesso a crédito, escolaridade, idade, existência de sucessão familiar, distância de centros de serviço e disponibilidade de conectividade produzem situações substancialmente distintas quanto à viabilidade e à utilidade das mesmas tecnologias.

No ordenamento brasileiro, a agricultura familiar possui definição legal que estabelece critérios relativos a área, mão de obra, renda e gestão do estabelecimento, definição que fundamenta políticas específicas de crédito, assistência técnica e comercialização (BRASIL, 2006). A existência dessa categoria

normativa reconhece que políticas uniformes produzem efeitos desiguais e que arranjos diferenciados são necessários.

Três barreiras merecem exame específico. A primeira é a indivisibilidade de boa parte dos equipamentos: a mesma máquina custa o mesmo independentemente da área em que será utilizada, de modo que o custo por hectare decresce com a escala. Arranjos de uso compartilhado, prestação de serviço e organização cooperativa atuam sobre essa barreira, e sua viabilidade depende de organização coletiva preexistente. A segunda é a conectividade, cuja ausência inviabiliza aplicações que dependem de transferência de dados e cuja distribuição no meio rural é desigual. A terceira é a assistência técnica: a interpretação de dados agronômicos exige competência que a maior parte dos produtores não possui e cuja contratação individual é onerosa em pequena escala.

Documentos institucionais de prospecção sobre o futuro da agricultura brasileira identificam entre os desafios centrais a necessidade de combinar competitividade, sustentabilidade e inclusão produtiva, reconhecendo a heterogeneidade dos sistemas produtivos como característica estrutural e não transitória (EMBRAPA, 2018). Avaliações internacionais sobre tendências dos sistemas alimentares apontam, em direção convergente, que a garantia de suprimento futuro depende simultaneamente de produtividade, sustentabilidade dos recursos e capacidade de inclusão dos produtores de menor escala, que respondem por parcela relevante da produção de alimentos em diversas regiões (FAO, 2017).

4 POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO, PREPARAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO

4.1 ADOÇÃO PROGRESSIVA E AVALIAÇÃO DE RETORNO

A decisão sobre adoção de tecnologias de precisão beneficia-se de tratamento sequencial em vez de investimento integral simultâneo. Uma trajetória possível inicia pelo registro sistemático de operações e resultados, atividade de custo baixo que produz a base de comparação necessária para avaliar qualquer intervenção posterior. A segunda etapa consiste em diagnosticar a variabilidade existente na área, por amostragem georreferenciada ou por análise de mapas de produtividade, uma vez que a magnitude dessa variabilidade determina o potencial de ganho do manejo diferenciado. Áreas com variabilidade reduzida não justificam investimento em aplicação diferenciada, e essa conclusão é resultado válido do diagnóstico.

A terceira etapa consiste em intervir sobre a operação de maior peso econômico ou ambiental na área específica, e não sobre aquela de tecnologia mais recente. A quarta consiste em avaliar o resultado por meio de comparação estruturada, preferencialmente com faixas de manejo distinto na mesma área e no mesmo ano, arranjo que controla parcialmente a variação climática entre safras. Sem essa comparação, a atribuição do resultado observado à intervenção adotada permanece especulativa, dado que o efeito climático interanual frequentemente supera o efeito do manejo.

Essa recomendação metodológica decorre diretamente da advertência da literatura sobre a dificuldade de avaliar adoção e retorno em agricultura de precisão, na qual afirmações genéricas sobre desempenho carecem de especificação das condições em que foram obtidas (LOWENBERG-DEBOER; ERICKSON, 2019). A postura adequada diante de anúncios de ganho consiste em perguntar em que cultura, em que região, sob que sistema de manejo e com que método de comparação o resultado foi obtido.

4.2 CAPACITAÇÃO PROFISSIONAL E ASSISTÊNCIA TÉCNICA

A formação em ciências agrárias tem incorporado geotecnologias, análise de dados e sistemas de informação em graus variados. A lacuna mais relevante situa-se, contudo, menos no domínio das ferramentas e mais na capacidade de integrar informação de origens diversas em recomendação agrônoma fundamentada, competência que combina conhecimento de solos, fisiologia vegetal, meteorologia, estatística e conhecimento local sobre a área.

A assistência técnica ocupa posição estratégica nesse arranjo, e sua configuração vem se transformando. A prestação de serviço técnico associada à venda de insumos ou de equipamentos cria interesse que não coincide necessariamente com a otimização do resultado do produtor. A revisão das ciências sociais sobre agricultura digital registra essa transformação das relações de assessoria entre as questões que demandam atenção, observando que a intermediação por plataformas altera quem detém a informação e quem formula a recomendação (KLERKX; JAKKU; LABARTHE, 2019). Arranjos que preservam assistência técnica independente, seja pública, seja cooperativa, seja contratada diretamente pelo produtor, mantêm relevância precisamente por essa razão.

O Quadro 1 organiza, em forma comparativa, requisitos associados a diferentes níveis de incorporação tecnológica na propriedade. O quadro é esquema analítico organizado para fins de exposição a partir das referências citadas, e não de escala de classificação ou instrumento de diagnóstico validado.

Quadro 1 – Níveis de incorporação tecnológica e requisitos associados

Nível	Prática característica	Requisito de infraestrutura	Requisito de competência	Barreira principal
Registro	Anotação sistemática de operações, insumos e resultados	Mínimo, admite registro não digital	Organização e disciplina de registro	Hábito e tempo dedicado
Georreferenciamento	Delimitação de áreas e amostragem localizada	Receptor GNSS e serviço de correção conforme a exigência	Noções de sistemas de referência e amostragem	Custo do serviço de correção
Monitoramento	Sensoriamento de lavoura, solo, clima ou rebanho	Conectividade e energia em campo	Interpretação de indicadores e validação em campo	Conectividade rural
Manejo diferenciado	Aplicação em taxa variável a partir de mapa de prescrição	Equipamento de atuação e sistema de posicionamento	Elaboração e crítica de recomendação agronômica	Assistência técnica qualificada
Integração	Articulação entre manejo, gestão econômica e rastreabilidade	Sistemas interoperáveis e gestão de dados	Análise integrada e leitura contratual sobre dados	Dependência de fornecedor

Fonte: elaboração do autor com base nas referências citadas.

A leitura do quadro deve considerar que os níveis não constituem trajetória obrigatória nem hierarquia de mérito. Uma propriedade pode obter resultado adequado permanecendo nos primeiros níveis, e o avanço só se justifica quando a condição específica da área e do sistema produtivo indica retorno compatível com o investimento.

4.3 POLÍTICAS DE ACESSO E ARRANJOS COLETIVOS

A distribuição dos benefícios da digitalização agrícola depende de decisões de política que atuam sobre as barreiras identificadas. A ampliação da conectividade em áreas rurais constitui condição de infraestrutura sem a qual parcela das aplicações permanece inacessível, e seu tratamento como política de inclusão produtiva, e não apenas como serviço de telecomunicações, altera os critérios de priorização de investimento.

Arranjos de uso compartilhado de equipamentos, mediados por cooperativas, associações ou prestadores de serviço, atuam sobre a barreira de indivisibilidade e permitem que produtores de menor escala acessem tecnologias cujo custo individual seria proibitivo. Sua viabilidade depende de organização coletiva, de capacidade de gestão e de escala mínima de demanda agregada na região.

Programas de assistência técnica com financiamento público mantêm papel relevante precisamente nos segmentos em que a prestação privada é economicamente inviável. O desenho desses programas

beneficia-se de considerar que a competência requerida se ampliou: além do conhecimento agrônomo convencional, tornou-se necessária capacidade de interpretar dados, avaliar propostas tecnológicas e orientar decisões contratuais relativas a serviços digitais.

5 DESAFIOS, RISCOS, LIMITES E CONDIÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO

Há, em primeiro lugar, a assimetria entre a evidência disponível sobre desempenho das tecnologias e as afirmações que circulam em material comercial. Resultados obtidos em condições específicas são frequentemente apresentados como generalizáveis, e a ausência de especificação sobre cultura, região, sistema e método de comparação impede avaliação independente. Essa assimetria prejudica particularmente produtores com menor acesso a assistência técnica independente, que dispõem de menos recursos para contestar afirmações de desempenho.

O segundo é a dependência de fornecedor. Sistemas com formatos proprietários, interfaces não documentadas e dados armazenados em plataformas do fabricante criam custo de mudança que se acumula ao longo do tempo. A avaliação da portabilidade dos dados e da interoperabilidade com sistemas de outros fornecedores deveria integrar a decisão de aquisição, momento em que o poder de negociação é maior.

O terceiro é o risco de que a orientação por dados reforce a especialização produtiva. Sistemas de recomendação calibrados sobre culturas e sistemas dominantes tendem a produzir orientação de melhor qualidade para esses sistemas, o que pode ampliar sua vantagem relativa. Sistemas diversificados, consorciados ou agroecológicos geram dados que se ajustam menos aos modelos disponíveis, e sua menor representação nos conjuntos de dados de treinamento pode traduzir-se em menor qualidade de recomendação, com efeito cumulativo sobre a viabilidade relativa dos modelos produtivos.

O quarto é a questão do trabalho. A automação altera a composição das ocupações rurais, reduzindo demanda por certas atividades e criando demanda por outras, com perfil de qualificação distinto. Essa transformação não é neutra em relação a quem está empregado no setor, e sua gestão exige políticas de formação e transição que raramente acompanham a difusão tecnológica com a mesma velocidade.

O quinto é a segurança dos sistemas. Máquinas conectadas, sistemas de irrigação automatizados e plataformas de gestão constituem superfície de exposição cuja proteção tem recebido atenção menor do que em outros setores. A interrupção de operações em janelas críticas de plantio, aplicação ou colheita produz prejuízo cuja recuperação não é possível dentro da mesma safra.

O sexto diz respeito à interpretação ambiental dos ganhos. Avaliações que reportam redução de insumo por unidade produzida podem coexistir com aumento do uso agregado, com transferência de impacto para outras dimensões ou com efeitos em escala superior à da propriedade. Avaliações metodologicamente adequadas requerem definição explícita da unidade funcional, da fronteira do sistema e da escala espacial considerada.

Uma limitação do próprio campo merece registro. Parcela substantiva da literatura sobre agricultura de precisão e agricultura digital foi produzida em contextos caracterizados por estruturas fundiárias, sistemas produtivos, condições edafoclimáticas e arranjos de assistência técnica distintos dos predominantes no Brasil e em outros países de agricultura tropical. A transposição direta de suas conclusões exige mediação analítica, e a produção de investigação empírica sobre condições brasileiras, incluindo sistemas de menor escala e culturas de menor cobertura na literatura internacional, permanece agenda relevante.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo partiu da pergunta sobre como utilizar inovação para elevar eficiência e qualidade no campo sem ampliar desigualdades ou comprometer a sustentabilidade ambiental. A análise desenvolvida sustenta que a resposta não se encontra na escolha entre adotar ou rejeitar tecnologias digitais, mas nas condições de acesso, nos arranjos de assistência técnica, na governança dos dados gerados e nos critérios com que os resultados são avaliados.

Três pontos sintetizam o que foi desenvolvido. A primeira é que o fundamento agrônômico do manejo diferenciado é sólido, e que a distância entre esse fundamento e o resultado observado em campo se explica predominantemente por fatores que não são de natureza técnica. Custo de equipamento, disponibilidade de conectividade, escala da área, valor da produção e acesso a interpretação qualificada determinam a viabilidade da adoção com peso maior do que o desempenho dos sistemas. Políticas que atuam apenas sobre a oferta tecnológica, sem tratar dessas condições, tendem a ampliar a diferença entre quem já tinha acesso e quem não tinha.

A segunda é que a produção de dados nas propriedades rurais criou ativos informacionais cuja disciplina permanece incompleta. A assimetria entre a capacidade de agregação de quem reúne dados de numerosas propriedades e a posição de cada produtor individual tem consequências econômicas que ultrapassam a esfera operacional. A leitura atenta das condições contratuais relativas a titularidade, uso, compartilhamento e portabilidade constitui, atualmente, a proteção disponível mais imediata, ainda que insuficiente diante da assimetria de poder de negociação.

A terceira é que a avaliação ambiental das tecnologias de precisão requer definição explícita de escala e de fronteira do sistema. Reduções de uso de insumo por unidade produzida constituem resultado relevante, mas não equivalem a redução de impacto agregado, e a confusão entre esses dois níveis produz conclusões otimistas que a evidência não sustenta. Avaliações honestas explicitam a unidade funcional adotada e reconhecem os efeitos que a análise não captura.

Os limites deste texto precisam ser declarados. Por tratar-se de ensaio de base narrativa, o texto não estabelece a robustez agregada da evidência disponível, não examina sistemas produtivos concretos e

decorre de escolhas de recorte legitimamente discutíveis. Nenhum valor quantitativo sobre redução de insumos, ganho de produtividade, taxa de adoção ou retorno econômico foi incorporado, opção que preserva a integridade factual ao custo de reduzir a especificidade empírica. As normas legais mencionadas foram referenciadas quanto ao seu objeto, sem reprodução de requisitos ou procedimentos, cuja aplicação exige consulta aos textos vigentes. O quadro apresentado constitui esquema comparativo destinado a organizar requisitos, e não escala de classificação de propriedades.

Do argumento decorrem três direções de pesquisa. A primeira é a avaliação de desempenho de tecnologias de precisão em sistemas produtivos de menor escala e em culturas com menor representação na literatura internacional, com desenho experimental que permita atribuição do resultado. A segunda é a análise das condições contratuais relativas a dados agrícolas praticadas no mercado brasileiro, com exame de seus efeitos sobre autonomia e sobre custo de mudança de fornecedor. A terceira é a investigação sobre arranjos de assistência técnica capazes de suprir a competência interpretativa requerida pelas tecnologias digitais em segmentos onde a prestação privada individual é inviável.

Resumido em uma frase, o argumento é este: a tecnologia disponível não determina quem se beneficia dela. Sensores, receptores, máquinas orientadas e plataformas de análise ampliam a capacidade de conhecer e de intervir sobre a produção agropecuária. A conversão dessa capacidade em benefício amplamente distribuído depende de conectividade, de crédito adequado, de assistência técnica independente, de regras claras sobre dados e de reconhecimento da heterogeneidade dos sistemas produtivos como característica a ser considerada, e não como obstáculo a ser eliminado.

REFERÊNCIAS

ALTIERI, Miguel A. **Agroecology**: the science of sustainable agriculture. 2. ed. Boulder: Westview Press, 1995.

BASSO, Bruno; ANTLE, John. Digital agriculture to design sustainable agricultural systems. **Nature Sustainability**, v. 3, p. 254-256, 2020.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, DF: Presidência da República, 1997.

BRASIL. **Lei nº 10.267, de 28 de agosto de 2001**. Altera dispositivos das Leis nº 4.947/1966, nº 5.868/1972, nº 6.015/1973, nº 6.739/1979 e nº 9.393/1996 e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2001.

BRASIL. **Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006**. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Brasília, DF: Presidência da República, 2006.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília, DF: Presidência da República, 2012.

BRASIL. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018.** Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Brasília, DF: Presidência da República, 2018.

BRASIL. **Lei nº 14.785, de 27 de dezembro de 2023.** Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem, a rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e das embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, produtos de controle ambiental e afins. Brasília, DF: Presidência da República, 2023.

BRONSON, Kelly; KNEZEVIC, Irena. Big data in food and agriculture. **Big Data & Society**, v. 3, n. 1, 2016.

CARBONELL, Isabelle M. The ethics of big data in big agriculture. **Internet Policy Review**, v. 5, n. 1, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Visão 2030:** o futuro da agricultura brasileira. Brasília: Embrapa, 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The future of food and agriculture:** trends and challenges. Roma: FAO, 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The state of the world's land and water resources for food and agriculture:** systems at breaking point. Roma: FAO, 2021.

GEBBERS, Robin; ADAMCHUK, Viacheslav I. Precision agriculture and food security. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 828-831, 2010.

GLIESSMAN, Stephen R. **Agroecology:** the ecology of sustainable food systems. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015.

GODFRAY, H. Charles J. et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 812-818, 2010.

HOFMANN-WELLENHOF, Bernhard; LICHTENEGGER, Herbert; WASLE, Elmar. **GNSS: Global Navigation Satellite Systems:** GPS, GLONASS, Galileo and more. Wien: Springer, 2008.

KLERKX, Laurens; JAKKU, Emma; LABARTHE, Pierre. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: new contributions and a future research agenda. **NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 90-91, 2019.

LOWENBERG-DEBOER, James; ERICKSON, Bruce. Setting the record straight on precision agriculture adoption. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 4, p. 1552-1569, 2019.

MONICO, João Francisco Galera. **Posicionamento pelo GNSS:** descrição, fundamentos e aplicações. 2. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2008.

MULLA, David J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps. **Biosystems Engineering**, v. 114, n. 4, p. 358-371, 2013.

PAIXÃO, Joelson Lopes da. Inteligência artificial na engenharia e na Indústria 4.0: fundamentos, aplicações e desafios contemporâneos. **Aurum Revista Multidisciplinar**, v. 2, p. 1-10, 2026.

PRETTY, Jules. Intensification for redesigned and sustainable agricultural systems. **Science**, v. 362, n. 6417, 2018.

ROTZ, Sarah et al. The politics of digital agricultural technologies: a preliminary review. **Sociologia Ruralis**, v. 59, n. 2, p. 203-229, 2019.

SOUZA, Jaques José da Silva et al. Meio ambiente, sustentabilidade e desenvolvimento: desafios para uma sociedade em transformação. In: PAIXÃO, Joelson Lopes da et al. (org.). **Saberes interdisciplinares e multidisciplinares: educação, ciência, sociedade e inovação**. Curitiba: Aurum Editora, 2026. v. 1, p. 88-104.

TILMAN, David et al. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 50, p. 20260-20264, 2011.

WOLFERT, Sjaak et al. Big data in smart farming: a review. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 69-80, 2017.

ZHANG, Naiqian; WANG, Maohua; WANG, Ning. Precision agriculture: a worldwide overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 36, n. 2-3, p. 113-132, 2002.

CAPÍTULO 5

EDUCAÇÃO PARA UM MUNDO EM TRANSFORMAÇÃO: FORMAÇÃO, TECNOLOGIA E PENSAMENTO CRÍTICO

EDUCATION FOR A CHANGING WORLD: FORMATION, TECHNOLOGY AND CRITICAL THINKING

 <https://doi.org/10.63330/livroautoral912026-005>

Fernando Dandaro

Pós-Doutor em Administração e em Educação, UML/UFPR
Docente da FATEC - Faculdade de Tecnologia de Franca "Dr. Thomaz Novelino".

E-mail: fdandaro@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6702553582427541>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6530-242X>

Maria Josileide da Silva Souza

Mestre em Educação, pela Universidad Europea del Atlántico, Santander, Cantábria, Espanha.

E-mail: mjosileide0209@gmail.com

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/6511196092646073>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1252-092X>

Samuel Gonçalves Pinto

Doutor em Ciências do Exercício e do Esporte -Universidade Estadual do Rio de Janeiro/UERJ.
SEDUC/MT

E-mail: samuelpintoeducacao@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2049611731367329>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0469-0467>

Fernanda de Souza Ramos Jobim

Enfermagem pelo Centro Educacional Celso Lisboa. Pós-graduação em Enfermagem em UTI Neonatal e
Pediátrica, Faculdade Batista de Minas Gerais

E-mail: fernandajobim10@gmail.com

Keyla Morales de Lima Garcia

Doutoranda em Educação pela UFSCAR e mestre em letras pela Unemat

E-mail: kmoralesdelima@gmail.com

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/1127650219205067>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1472-7190>

Resumo

Este capítulo examina que educação se torna necessária diante de transformações sociais, tecnológicas e profissionais cujo desdobramento não pode ser antecipado com precisão. O problema investigado decorre de uma inversão recorrente no debate educacional contemporâneo: a discussão sobre ferramentas digitais tende a ocupar o lugar da discussão sobre finalidades formativas, de modo que a pergunta sobre quais recursos incorporar antecede e frequentemente substitui a pergunta sobre que tipo de formação se pretende oferecer. A pergunta norteadora indaga que educação é necessária para formar pessoas capazes de aprender

continuamente, adaptar-se e agir criticamente. O capítulo é um ensaio teórico qualitativo, apoiado em revisão narrativa crítica de literatura da pesquisa educacional, da psicologia da aprendizagem, dos estudos sobre tecnologia educacional e das políticas de formação docente. O argumento central sustenta que preparar para o futuro não significa apenas inserir ferramentas digitais no ensino, mas desenvolver pensamento crítico, criatividade, autonomia, responsabilidade e capacidade de aprender, o que depende de condições institucionais adequadas ao trabalho docente. A discussão percorre a disputa sobre as finalidades da educação, os pressupostos da aprendizagem ao longo da vida, os limites da personalização algorítmica, a evidência disponível sobre orientação instrucional, a reconfiguração dos processos avaliativos, os riscos de delegação cognitiva, a natureza do conhecimento profissional docente e as desigualdades de acesso. Conclui-se que a contribuição das tecnologias digitais à formação depende de decisões pedagógicas fundamentadas, de avaliação empírica dos efeitos observados e de condições de trabalho que tornem possível o exercício do julgamento profissional.

Palavras-chave: Formação docente; Tecnologia educacional; Pensamento crítico; Avaliação da aprendizagem; Condições de trabalho docente.

Abstract

This chapter examines what kind of education becomes necessary in the face of social, technological and occupational transformations whose unfolding cannot be anticipated with precision. The problem addressed stems from a recurring inversion in contemporary educational debate: discussion of digital tools tends to displace discussion of formative purposes, so that the question of which resources to adopt precedes and frequently replaces the question of what kind of formation is intended. The guiding question asks what education is required to form people capable of learning continuously, adapting and acting critically. The chapter is a qualitative theoretical essay grounded in a critical narrative review of scientific, documentary and normative literature drawn from educational research, the psychology of learning, studies of educational technology and teacher education policy. The central argument holds that preparing for the future does not mean merely inserting digital tools into teaching, but developing critical thinking, creativity, autonomy, responsibility and the capacity to learn, which depends on institutional conditions adequate to teaching work. The discussion covers the dispute over the purposes of education, the assumptions of lifelong learning, the limits of algorithmic personalisation, the available evidence on instructional guidance, the reconfiguration of assessment, the risks of cognitive offloading, the nature of professional teaching knowledge, and inequalities of access. It concludes that the contribution of digital technologies to education depends on well-grounded pedagogical decisions, empirical evaluation of observed effects, and working conditions that make the exercise of professional judgement possible.

Keywords: Teacher education; Educational technology; Critical thinking; Learning assessment; Teaching working conditions.

1 INTRODUÇÃO

Cada geração de tecnologia educacional chegou acompanhada da expectativa de que transformaria substancialmente a aprendizagem. O rádio, o cinema, a televisão, o computador pessoal, os cursos abertos em larga escala e, mais recentemente, os sistemas de inteligência artificial generativa foram sucessivamente apresentados como capazes de superar limitações históricas do ensino, ampliar acesso e personalizar percursos. A recorrência dessa expectativa e a distância entre ela e os resultados observados constituem, em si, objeto de estudo relevante, e sugerem que o problema não está apenas nas ferramentas, mas na estrutura da própria expectativa.

Essa observação não implica ceticismo quanto ao valor de recursos digitais na educação. Implica reconhecer que a introdução de uma tecnologia em uma prática social complexa produz efeitos que dependem de como ela é apropriada por quem a utiliza, das finalidades a que é submetida e das condições institucionais em que opera. A mesma ferramenta pode ampliar a autonomia intelectual de um estudante ou substituir seu esforço cognitivo, e a diferença entre esses dois resultados não é determinada pela ferramenta.

O debate educacional contemporâneo apresenta, contudo, uma inversão que merece atenção. A pergunta sobre quais tecnologias adotar tende a ser formulada antes e independentemente da pergunta sobre que formação se pretende oferecer. Instituições definem estratégias de transformação digital, adquirem plataformas e estabelecem metas de utilização sem que a discussão sobre finalidades pedagógicas tenha sido conduzida com igual seriedade. O resultado previsível é a incorporação de recursos cujo efeito sobre a aprendizagem não é avaliado, cuja utilização é mensurada por indicadores de acesso e cuja permanência depende mais de contrato do que de evidência.

Há um segundo elemento, de natureza distinta, que a chegada de sistemas capazes de produzir texto plausível sobre praticamente qualquer assunto tornou incontornável. Boa parte dos instrumentos de avaliação em uso pressupõe que a produção de um texto por um estudante constitui evidência de sua compreensão. Quando essa produção pode ser obtida sem o processo cognitivo que ela deveria evidenciar, o instrumento deixa de medir o que pretendia. A resposta institucional predominante tem oscilado entre a proibição, cuja fiscalização é impraticável, e a permissão irrestrita, que abandona a função avaliativa. Ambas evitam a questão substantiva, que é a de identificar o que se pretende que os estudantes sejam capazes de fazer e como verificar essa capacidade.

O problema tratado a seguir localiza-se nessa articulação entre finalidades formativas, incorporação tecnológica e condições de trabalho docente. A hipótese que orienta a análise é que a discussão sobre

tecnologia educacional se torna produtiva apenas quando subordinada a uma definição explícita do que se pretende formar, e que essa definição não é técnica, mas normativa e política.

A pergunta norteadora é, portanto: **que educação é necessária para formar pessoas capazes de aprender continuamente, adaptar-se e agir criticamente diante das transformações futuras?** O objetivo é discutir como a educação pode preparar estudantes, professores e instituições para realidades sociais e profissionais em transformação, preservando pensamento crítico, autonomia, inclusão e mediação docente.

A proposição defendida é que preparar para o futuro não significa apenas inserir ferramentas digitais no ensino, mas desenvolver pensamento crítico, criatividade, autonomia, responsabilidade e capacidade de aprender, o que depende de condições institucionais adequadas ao trabalho docente. A última cláusula não é acessória: competências formativas complexas exigem tempo de planejamento, turmas de tamanho compatível com acompanhamento individual, estabilidade de vínculo e remuneração que permita dedicação, condições cuja ausência torna inexecutáveis boa parte das recomendações pedagógicas correntes.

A relevância dessa discussão ultrapassa o campo educacional. Profissionais de todas as áreas foram formados por sistemas educacionais e continuarão a depender de aprendizagem ao longo de suas trajetórias. Empregadores formulam expectativas sobre competências que atribuem à formação inicial. Gestores públicos decidem sobre currículos, financiamento e carreira docente. Desenvolvedores de tecnologia produzem sistemas cujas premissas pedagógicas raramente são explicitadas. A educação é objeto de interesse compartilhado e de opinião amplamente distribuída, o que torna particularmente necessário distinguir, na análise, o que a evidência sustenta daquilo que constitui preferência.

O restante do capítulo percorre o seguinte caminho. Depois do método, a fundamentação teórica examina a disputa sobre as finalidades da educação, os pressupostos da aprendizagem ao longo da vida, os limites da personalização algorítmica, a evidência sobre orientação instrucional, a reconfiguração da avaliação, os riscos de delegação cognitiva, a natureza do conhecimento profissional docente e as desigualdades de acesso. A quarta seção discute possibilidades de aplicação. A quinta enfrenta os obstáculos e o que seria preciso para removê-los. O fecho recupera a pergunta inicial e demarca até onde a análise alcança.

2 PERCURSO METODOLÓGICO

Trata-se de ensaio teórico. A abordagem é qualitativa e a base empírica é bibliográfica: uma revisão narrativa crítica de literatura científica, documental e normativa relacionada ao problema. Os protocolos que definem revisões sistemáticas, de escopo ou integrativas não foram observados. Tampouco se trata de investigação empírica sobre instituições, programas, turmas ou recursos específicos.

As fontes utilizadas reúnem-se em quatro conjuntos. O primeiro reúne a literatura sobre finalidades da educação e sobre a natureza do conhecimento profissional docente, que fornece o referencial normativo e conceitual da análise. O segundo compreende a pesquisa empírica em psicologia da aprendizagem e em eficácia instrucional, incluindo estudos experimentais e sínteses de literatura sobre orientação, prática de recuperação e avaliação formativa. O terceiro abrange os estudos críticos sobre tecnologia educacional, que examinam pressupostos, efeitos distributivos e interesses envolvidos na incorporação de sistemas digitais ao ensino. O quarto agrega documentos institucionais e normativos, incluindo referenciais internacionais sobre educação e inteligência artificial e legislação brasileira relativa a diretrizes da educação nacional, planejamento educacional, inclusão e carreira docente.

Presidiram a seleção a pertinência ao problema formulado, a autoridade reconhecida das fontes em seus campos, a atualidade quando o tema exigia informação contemporânea e a aderência ao objetivo do capítulo. Foram deliberadamente incorporadas contribuições que divergem quanto à eficácia de abordagens instrucionais, dado que a literatura apresenta controvérsia substantiva e persistente sobre esse ponto, cuja omissão produziria simplificação indevida.

Convém declarar três restrições. A primeira é a ausência de valores quantitativos sobre tamanho de efeito, desempenho comparado ou taxas de adoção. Sínteses quantitativas em educação apresentam heterogeneidade metodológica considerável, e a citação de números fora do contexto de sua obtenção produziria aparência de precisão sem sustentação. A segunda é que os documentos normativos foram referenciados quanto ao seu objeto e à sua função no sistema, sem reprodução de dispositivos, metas ou prazos, cuja aplicação exige consulta aos textos vigentes. A terceira é que as observações sobre práticas institucionais derivam da literatura consultada e não de verificação direta. O que se propõe adiante é interpretação, não demonstração, e não se generaliza a qualquer nível de ensino, sistema ou contexto.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E DISCUSSÃO CRÍTICA

3.1 A DISPUTA SOBRE AS FINALIDADES DA EDUCAÇÃO

Discussões sobre o que a educação deve formar tendem a ser tratadas como consensuais, quando são profundamente controversas. A formulação que distingue três funções simultâneas do processo educativo oferece um instrumento analítico útil: a qualificação, entendida como aquisição de conhecimentos e habilidades que capacitam à ação; a socialização, que insere o sujeito em tradições, práticas e formas de vida existentes; e a subjetivação, que se refere à constituição de sujeitos capazes de agir com independência em relação a essas mesmas tradições (BIESTA, 2010). Essas funções não são automaticamente compatíveis. Um sistema que otimiza qualificação pode enfraquecer subjetivação; um que enfatiza socialização pode reduzir a disposição crítica que a subjetivação supõe.

Essa distinção esclarece por que o debate sobre competências para o futuro é menos técnico do que aparenta. Listas de competências desejáveis privilegiam, quase invariavelmente, a dimensão da qualificação, formulada em termos de adaptabilidade ao mercado de trabalho. Documentos internacionais que propõem referenciais de competências para as próximas décadas articulam conhecimentos, habilidades, atitudes e valores em torno da noção de capacidade de agência, entendida como possibilidade de influenciar os próprios rumos e de contribuir para os de outros (OCDE, 2018). A formulação incorpora dimensão que ultrapassa a empregabilidade, ainda que a apropriação institucional desses referenciais frequentemente a reduza a esse termo.

A tradição pedagógica que situa a educação como prática de formação da autonomia oferece um contraponto que permanece analiticamente produtivo. A proposição de que ensinar não consiste em transferir conhecimento, mas em criar as possibilidades para sua produção pelo próprio educando, e de que essa prática exige rigor, curiosidade epistemológica e respeito aos saberes que o estudante traz, situa a mediação docente em lugar que nenhum recurso técnico ocupa (FREIRE, 1996). A relação pedagógica é, nessa formulação, relação entre sujeitos, e sua qualidade depende de elementos que não se automatizam.

Documentos internacionais recentes sobre o futuro da educação convergem parcialmente com essa orientação ao propor a educação como bem comum e ao situar entre suas finalidades a capacidade de agir coletivamente sobre problemas compartilhados, para além da preparação individual para o mercado (UNESCO, 2021). A distância entre essas formulações e as práticas efetivamente adotadas nos sistemas educacionais constitui, ela própria, objeto de investigação relevante.

3.2 APRENDIZAGEM AO LONGO DA VIDA: PROMESSA E RESPONSABILIZAÇÃO

A expressão aprendizagem ao longo da vida designa simultaneamente um fato e uma prescrição. Como fato, registra que a aprendizagem não se encerra com a conclusão da formação inicial e que trajetórias profissionais contemporâneas exigem atualização recorrente. Como prescrição, atribui ao indivíduo a responsabilidade por essa atualização, deslocamento cujas implicações merecem exame.

A análise crítica dessa formulação observa que a responsabilização individual pela empregabilidade opera em um contexto de condições materiais desiguais. Aprender continuamente exige tempo disponível, estabilidade de renda, acesso a oferta formativa de qualidade e informação confiável sobre trajetórias possíveis. Quem trabalha em jornadas extensas, com vínculos instáveis e sem apoio institucional dispõe de condições substancialmente distintas daquelas de quem tem acesso a licença remunerada para formação. Tratar a aprendizagem continuada como escolha individual transfere a quem tem menos recursos o ônus de absorver transformações decididas em outra instância.

Essa observação não invalida a prescrição, que permanece pertinente. Ela indica que sua realização depende de arranjos institucionais que a tornem exequível, incluindo políticas de financiamento da

formação continuada, reconhecimento formal de aprendizagens realizadas fora do sistema formal e oferta pública de qualidade. No caso específico da profissão docente, a literatura sobre saberes profissionais indica que a efetividade dos programas de formação continuada depende de sua articulação com o trabalho concreto realizado e de condições que permitam reflexão sobre a prática, e não apenas da oferta de conteúdos atualizados (TARDIF, 2002; NÓVOA, 2009).

Do ponto de vista da formação inicial, a implicação é que o desenvolvimento da capacidade de aprender autonomamente se torna objetivo formativo em si, e não subproduto do ensino de conteúdos. A literatura sobre técnicas de estudo eficazes documentou que estudantes frequentemente adotam estratégias de baixa eficácia, como releitura e grifo, e desconhecem ou subutilizam estratégias com melhor sustentação empírica, como prática distribuída e recuperação ativa (DUNLOSKY et al., 2013). Ensinar explicitamente essas estratégias constitui intervenção de custo reduzido e efeito documentado, raramente incorporada de modo sistemático aos currículos.

3.3 PERSONALIZAÇÃO E OS LIMITES DA ADAPTATIVIDADE ALGORÍTMICA

A promessa de personalização acompanha a tecnologia educacional há décadas e ganhou nova formulação com sistemas capazes de ajustar sequência, dificuldade e ritmo conforme o desempenho registrado. Seu fundamento aparente remete à observação de que a instrução individualizada produz resultados substancialmente superiores à instrução coletiva convencional, formulada como problema de encontrar métodos de ensino em grupo tão eficazes quanto a tutoria individual (BLOOM, 1984).

A transposição dessa observação para sistemas automatizados exige cautela. A tutoria humana eficaz combina diagnóstico do erro, formulação de explicações alternativas, ajuste da relação pedagógica ao estado motivacional do estudante e julgamento sobre quando insistir e quando mudar de abordagem. Sistemas adaptativos operam sobre um subconjunto dessas dimensões, tipicamente ajustando sequência e dificuldade a partir de padrões de acerto e erro em itens previamente classificados. A revisão sobre inteligência artificial na educação registra que os sistemas disponíveis apresentam desempenho variável conforme o domínio de conhecimento, com melhores resultados em áreas com estrutura de conteúdo bem definida e desempenho mais limitado em domínios que envolvem produção aberta, argumentação ou julgamento (HOLMES; BIALIK; FADEL, 2019).

Uma segunda cautela diz respeito ao que a personalização otimiza. Sistemas que ajustam o percurso para maximizar a taxa de acerto podem reduzir a exposição do estudante a dificuldade produtiva, elemento cuja importância para a aprendizagem duradoura está documentada. A discussão sobre inteligência artificial aplicada ao ensino de matemática identifica essa tensão ao examinar simultaneamente o potencial de personalização, a centralidade da mediação docente na interpretação das trajetórias individuais e os desafios ético-epistemológicos relacionados à delegação de decisões pedagógicas a sistemas cujos critérios não são

transparentes para quem os utiliza (PAIXÃO et al., 2026a). A observação é pertinente porque a personalização automatizada desloca decisões pedagógicas para o desenho do sistema, onde permanecem menos visíveis e menos sujeitas a exame profissional.

A análise sobre a expansão de dados em larga escala na educação acrescenta uma dimensão institucional. A produção de registros detalhados sobre comportamento de estudantes cria bases que alimentam decisões de política e de gestão, com efeitos sobre o que se torna visível e mensurável nos sistemas educacionais e, por consequência, sobre o que se torna objeto de prioridade (WILLIAMSON, 2017). Dimensões formativas que não geram registro quantificável tendem a receber menor atenção institucional, não por decisão deliberada, mas por consequência da arquitetura de informação adotada.

3.4 METODOLOGIAS ATIVAS E A EVIDÊNCIA SOBRE ORIENTAÇÃO INSTRUCIONAL

O debate sobre o grau de orientação que a instrução deve fornecer constitui uma das controvérsias mais persistentes da pesquisa educacional, e sua apresentação simplificada tem produzido prescrições contraditórias. De um lado, sínteses de estudos comparativos em ciências, engenharia e matemática documentaram que abordagens que envolvem participação ativa dos estudantes apresentaram desempenho superior ao da exposição convencional em medidas de aprendizagem e em taxas de reprovação (FREEMAN et al., 2014). De outro, análises fundamentadas na arquitetura cognitiva humana argumentaram que abordagens com orientação mínima tendem a ser menos eficazes, particularmente para aprendizes iniciantes, porque impõem carga cognitiva que compromete a construção de esquemas na memória de longo prazo (KIRSCHNER; SWELLER; CLARK, 2006).

Essas posições são menos incompatíveis do que aparentam quando se distingue entre atividade cognitiva e ausência de orientação. Abordagens ativas bem desenhadas envolvem estudantes em processamento elaborado do conteúdo mantendo estrutura, sequenciamento e apoio adequados ao nível de conhecimento prévio. Abordagens que apenas removem a orientação, deixando estudantes iniciantes diante de problemas complexos sem suporte, produzem resultados inferiores. A teoria da carga cognitiva oferece o referencial que permite essa distinção ao caracterizar as limitações da memória de trabalho e as condições sob as quais o material instrucional facilita ou dificulta a aprendizagem (SWELLER; AYRES; KALYUGA, 2011).

A implicação prática é que a escolha do grau de orientação deve considerar o nível de conhecimento prévio do estudante no domínio específico, e não constituir opção metodológica generalizada. A mesma sequência instrucional pode ser adequada para aprendizes avançados e inadequada para iniciantes, e a inversão dessa relação está entre os achados mais consolidados do campo.

Sínteses de grande escala sobre fatores associados ao desempenho escolar contribuem para essa discussão, ainda que sua interpretação exija cautela metodológica. A agregação de resultados de meta-

análises com desenhos, populações e medidas heterogêneas produzem estimativas cuja comparabilidade tem sido objeto de crítica substantiva na literatura (HATTIE, 2009). O uso responsável desse tipo de síntese consiste em tratá-la como indicação de direções promissoras a serem examinadas em contexto, e não como ordenamento de eficácia aplicável universalmente.

3.5 AVALIAÇÃO: UM PROBLEMA DESLOCADO

A avaliação cumpre funções distintas que a discussão corrente frequentemente confunde. A função formativa consiste em gerar informação que permita ao estudante e ao professor ajustar o processo em curso. A função somativa consiste em certificar o alcance de determinado nível de aprendizagem. A função seletiva consiste em ordenar candidatos para acesso a posições limitadas. Instrumentos adequados a uma dessas funções não são necessariamente adequados às demais.

A pesquisa sobre avaliação formativa documentou que a informação devolvida ao estudante durante o processo apresenta associação consistente com melhoria da aprendizagem, desde que a devolutiva seja específica, oriente ação subsequente e não se reduza a atribuição de nota (BLACK; WILIAM, 1998). A prática predominante nos sistemas educacionais, contudo, concentra esforço na função somativa, e a devolutiva frequentemente chega tarde demais para orientar ajuste.

A avaliação apresenta ainda um efeito de aprendizagem em si mesma. Estudos experimentais documentaram que o ato de recuperar informação da memória, como ocorre em situações de teste, produz retenção de longo prazo superior à do estudo repetido pelo mesmo tempo, achado replicado em diversos contextos e materiais (ROEDIGER; KARPICKE, 2006). Essa constatação sugere que testes frequentes de baixo peso na composição da nota podem cumprir função pedagógica independentemente de sua função certificadora.

A disponibilidade de sistemas capazes de produzir texto plausível alterou substancialmente as condições da avaliação de produção escrita realizada fora de supervisão. O referencial internacional sobre uso de inteligência artificial generativa em educação recomenda que instituições estabeleçam orientações explícitas sobre usos aceitáveis, que considerem a idade e o nível dos estudantes, que preservem a supervisão humana sobre decisões consequentes e que a incorporação seja precedida de avaliação de adequação pedagógica (UNESCO, 2023). Recomendações desse tipo fornecem orientação geral, mas a decisão sobre instrumentos concretos permanece com as instituições e com os professores.

Três direções de redesenho merecem consideração. A primeira consiste em deslocar o peso avaliativo para situações presenciais ou supervisionadas, com produção escrita à distância cumprindo função formativa. A segunda consiste em avaliar o processo além do produto, incluindo versões intermediárias, justificativa de escolhas e capacidade de defender oralmente o trabalho apresentado. A terceira consiste em desenhar tarefas cuja resposta dependa de elementos não disponíveis aos sistemas,

como dados coletados pelo próprio estudante, contexto local específico ou articulação com discussões ocorridas em aula. Nenhuma dessas direções é isenta de custo, e todas ampliam o tempo docente requerido, o que remete às condições institucionais discutidas adiante.

3.6 DELEGAÇÃO COGNITIVA, DEPENDÊNCIA E SUPERFICIALIDADE

A preocupação com o efeito de recursos externos sobre a cognição não é nova, e a pesquisa disponível oferece elementos que qualificam tanto o alarme quanto o entusiasmo. Estudos sobre descarregamento cognitivo caracterizam como as pessoas utilizam recursos externos para reduzir demanda de processamento interno, prática que pode liberar capacidade para tarefas mais complexas ou reduzir o desenvolvimento de competências que dependem de prática (RISKO; GILBERT, 2016). O efeito depende do que é descarregado e do que se faz com a capacidade liberada.

Investigações sobre o efeito da disponibilidade permanente de informação sobre a memória sugeriram que pessoas tendem a recordar melhor onde encontrar a informação do que a informação em si quando sabem que ela permanecerá acessível (SPARROW; LIU; WEGNER, 2011). Cabe registrar que estudos dessa natureza têm sido objeto de discussão quanto à replicabilidade de alguns de seus achados, e sua interpretação deve ser cautelosa. A observação que permanece robusta é mais geral: a disponibilidade de recursos externos altera as estratégias cognitivas adotadas, e essa alteração tem consequências que dependem do objetivo formativo.

A questão pedagógica relevante não é se estudantes utilizarão sistemas de apoio, mas o que se pretende que sejam capazes de fazer sem eles e por quê. Essa pergunta admite respostas distintas conforme o domínio e o nível. Em campos nos quais a competência profissional exige capacidade de julgamento independente sobre a plausibilidade de um resultado, a formação precisa desenvolver essa capacidade, o que requer prática sem apoio em algum estágio. Em campos nos quais a ferramenta faz parte da prática profissional consolidada, insistir em sua ausência produz formação descolada do exercício real.

A literatura crítica sobre tecnologia educacional registra que a incorporação dessas ferramentas produz simultaneamente ampliação de acesso a recursos e riscos relacionados à superficialidade da apropriação, de modo que a mediação pedagógica se torna mais necessária e não menos (SELWYN, 2019). A observação é consistente com um achado recorrente da psicologia da aprendizagem: recursos que reduzem esforço não produzem, por si, aprendizagem, uma vez que a retenção duradoura depende precisamente de processamento cognitivo elaborado (DUNLOSKY et al., 2013).

3.7 MEDIAÇÃO DOCENTE E CONHECIMENTO PROFISSIONAL

A caracterização do conhecimento profissional docente como categoria específica, irreduzível tanto ao domínio do conteúdo quanto ao domínio de técnicas pedagógicas gerais, constitui uma das contribuições

mais consequentes da pesquisa educacional. A formulação do conhecimento pedagógico do conteúdo designa a compreensão de como tornar determinado assunto compreensível para determinados estudantes, incluindo as representações mais úteis, as analogias produtivas, as dificuldades tipicamente encontradas e as concepções prévias que interferem na aprendizagem (SHULMAN, 1986). Esse conhecimento é específico do conteúdo e construído na articulação entre formação e prática.

A extensão dessa formulação para incorporar a dimensão tecnológica propôs que a integração eficaz de recursos digitais depende da articulação entre conhecimento do conteúdo, conhecimento pedagógico e conhecimento tecnológico, articulação que não decorre do domínio isolado de cada um deles (MISHRA; KOEHLER, 2006). A implicação prática é que programas de formação docente centrados no treinamento em ferramentas tendem a produzir efeito limitado, porque a dificuldade não está em operar o recurso, mas em decidir quando, para quê e como empregá-lo em relação a um conteúdo específico e a estudantes determinados.

A análise sobre a natureza dos saberes docentes contribui ao caracterizá-los como plurais, provenientes de fontes diversas e construídos ao longo da trajetória profissional, o que situa a experiência não como acúmulo de tempo, mas como processo de elaboração que requer condições para reflexão sobre a prática (TARDIF, 2002). A discussão sobre a profissão docente registra, em direção convergente, que a construção de uma cultura profissional consistente depende de arranjos coletivos de trabalho, de participação na formação de novos professores e de reconhecimento público da profissão (NÓVOA, 2009).

A formação docente diante da difusão de sistemas de inteligência artificial apresenta demanda específica. Referenciais internacionais sobre o uso dessas tecnologias em contextos educacionais indicam que a competência requerida não se reduz à operação das ferramentas, envolvendo capacidade de avaliar criticamente os resultados que produzem, de compreender suas limitações e de decidir sobre sua incorporação ou não incorporação em situações determinadas, decisão que permanece pedagógica e não técnica (UNESCO, 2023). Essa competência é de natureza profissional, e sua formação exige tempo e oportunidade de experimentação supervisionada que a organização atual do trabalho docente frequentemente não oferece.

Análises sobre a formação de professores no Brasil identificaram problemas estruturais persistentes relacionados à fragmentação curricular dos cursos de licenciatura, à distância entre formação teórica e prática escolar e às condições de oferta, questões cuja superação exige intervenção que ultrapassa a atualização de conteúdos programáticos (GATTI, 2010).

3.8 INCLUSÃO, ACESSIBILIDADE E DESIGUALDADE DIGITAL

A incorporação de recursos digitais ao ensino opera sobre uma distribuição preexistente de acesso a dispositivos, conectividade, espaço adequado de estudo e apoio familiar. Estratégias que pressupõem essas

condições produzem, quando aplicadas uniformemente, ampliação da diferença entre estudantes, dado que o mesmo recurso é utilizável por alguns e inacessível a outros.

A análise crítica da tecnologia educacional observa que o debate público tende a concentrar-se nas possibilidades das ferramentas e a subestimar as condições sociais de sua utilização, com o efeito de que benefícios são apresentados como universais quando sua realização depende de recursos desigualmente distribuídos (SELWYN, 2016). A discussão sobre a substituição de professores por sistemas automatizados argumenta, na mesma direção, que a formulação da pergunta em termos de substituição obscurece as questões mais relevantes, que dizem respeito a como essas tecnologias reconfiguram o trabalho educacional, quem decide sobre sua adoção e a quem seus benefícios se dirigem (SELWYN, 2019).

No ordenamento brasileiro, a educação é estabelecida como direito, com princípios que incluem igualdade de condições para o acesso e a permanência e garantia de padrão de qualidade (BRASIL, 1996). A legislação sobre inclusão da pessoa com deficiência estabelece o direito à educação em sistema inclusivo em todos os níveis, com previsão de adaptações e recursos de acessibilidade (BRASIL, 2015). Recursos digitais podem contribuir substantivamente para acessibilidade, por meio de leitores de tela, legendagem, ajuste de apresentação e recursos de comunicação alternativa. Podem também criar barreiras adicionais quando desenvolvidos sem observância de requisitos de acessibilidade, situação em que a digitalização exclui estudantes que a modalidade anterior atendia.

4 POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO, PREPARAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO

4.1 INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA SUBORDINADA A DECISÃO PEDAGÓGICA

A sequência adequada de decisão inverte a prática corrente. Em vez de partir da ferramenta disponível e buscar aplicação, parte-se da dificuldade de aprendizagem identificada, examina-se sua natureza e avalia-se se algum recurso contribui para superá-la. Essa inversão parece elementar e é raramente praticada, porque a oferta tecnológica chega às instituições por canais comerciais e institucionais que operam independentemente do diagnóstico pedagógico.

Um procedimento de avaliação prévia pode organizar-se em torno de perguntas verificáveis. Qual dificuldade específica o recurso pretende endereçar e como essa dificuldade foi identificada. Qual mecanismo de aprendizagem o recurso mobiliza e esse mecanismo tem sustentação na literatura. Que evidência existe sobre seu efeito em contexto comparável ao da instituição. Que competência docente sua utilização adequada requer e essa competência está disponível. Que estudantes podem ser excluídos por requisitos de acesso. Como o efeito será avaliado após a adoção e em que prazo a decisão será revista.

A ausência de resposta a essas perguntas não impede a adoção, mas a torna decisão não fundamentada, cuja avaliação posterior fica comprometida pela inexistência de critério prévio. A recomendação de avaliação de adequação pedagógica antes da incorporação de sistemas de inteligência

artificial em contextos educacionais aparece de modo explícito em referenciais internacionais sobre o tema (UNESCO, 2023).

4.2 DESENVOLVIMENTO EXPLÍCITO DO PENSAMENTO CRÍTICO

Pensamento crítico figura entre os objetivos declarados de praticamente todo documento curricular, e seu desenvolvimento efetivo depende de condições que a formulação genérica não explicita. A literatura disponível indica que a capacidade de avaliar argumentos, identificar pressupostos e reconhecer falhas de raciocínio apresenta componente substancial de especificidade de domínio: avaliar criticamente um argumento exige conhecimento suficiente sobre o assunto para reconhecer o que está sendo omitido ou distorcido. Programas que ensinam habilidades críticas de modo descontextualizado tendem a produzir transferência limitada.

A implicação é que o desenvolvimento do pensamento crítico ocorre principalmente no interior do ensino de conteúdos, por meio de práticas que exigem justificação, comparação de explicações alternativas, avaliação de evidência e reconhecimento de incerteza. Essas práticas ampliam o tempo dedicado a cada tópico, o que estabelece tensão real com a extensão dos programas curriculares. A resolução dessa tensão exige decisão sobre prioridades, e não apenas recomendação metodológica.

A avaliação crítica de resultados produzidos por sistemas automatizados constitui aplicação contemporânea dessa competência. Exercícios que solicitam a estudantes identificar imprecisões, avaliar a adequação de uma resposta gerada ou compará-la com fontes verificáveis mobilizam simultaneamente conhecimento do conteúdo e postura avaliativa. Sua eficácia depende de que os estudantes possuam conhecimento suficiente para exercer essa avaliação, o que situa a atividade em estágio posterior e não inicial da aprendizagem do tópico.

4.3 CONDIÇÕES INSTITUCIONAIS DO TRABALHO DOCENTE

Boa parte das recomendações pedagógicas correntes pressupõe condições de trabalho que a organização escolar frequentemente não oferece. Avaliação formativa com devolutiva individualizada, redesenho de instrumentos avaliativos, acompanhamento de percursos diferenciados e experimentação supervisionada com novos recursos exigem tempo de planejamento que compita com a carga de aulas, turmas de tamanho compatível e estabilidade suficiente para acumular conhecimento sobre os estudantes.

A discussão sobre valorização salarial docente e qualidade da educação pública no Brasil examina a articulação entre remuneração, atratividade da carreira, permanência na profissão e condições de exercício, situando a política salarial como componente estrutural da política de qualidade e não como pauta corporativa isolada (PAIXÃO; LIMA; MATIAS, 2026b). No ordenamento brasileiro, a instituição do piso salarial profissional nacional para os profissionais do magistério público da educação básica estabeleceu

valor mínimo de vencimento inicial e previu limite máximo de jornada destinado ao desempenho de atividades de interação com estudantes, reservando parcela da jornada a atividades extraclasse (BRASIL, 2008). O plano nacional de educação vigente, aprovado em 2026 para o decênio subsequente, incorpora entre suas diretrizes a valorização dos profissionais da educação e organiza objetivos, metas e estratégias com previsão de monitoramento periódico (BRASIL, 2026). Cabe registrar que a existência de meta em plano decenal é condição necessária e manifestamente insuficiente para sua realização. O grau de cumprimento das metas do plano anterior é objeto de relatórios oficiais de monitoramento, cuja consulta é indispensável a qualquer afirmação sobre resultados alcançados e que este capítulo não reproduz.

O Quadro 1 relaciona práticas pedagógicas frequentemente recomendadas às condições institucionais que sua realização pressupõe. Trata-se de construção analítica montada para fins de exposição a partir das referências citadas, e não de instrumento de diagnóstico validado.

Quadro 1 – Práticas recomendadas e condições institucionais correspondentes

Prática pedagógica	Condição institucional pressuposta	Consequência da ausência da condição
Avaliação formativa com devolutiva individualizada	Tempo de planejamento remunerado e turmas de tamanho compatível	Devolutiva reduzida a nota, sem função formativa
Redesenho de instrumentos avaliativos	Autonomia pedagógica e tempo para elaboração e revisão	Manutenção de instrumentos cuja validade foi comprometida
Acompanhamento de percursos diferenciados	Registro acessível e continuidade do professor com a turma	Personalização delegada integralmente a sistemas automatizados
Integração fundamentada de recursos digitais	Formação continuada articulada à prática e tempo de experimentação	Uso decorativo ou abandono do recurso adquirido
Desenvolvimento explícito do pensamento crítico	Programa curricular compatível com aprofundamento	Cobertura extensiva com apropriação superficial
Práticas inclusivas e acessibilidade	Apoio especializado e recursos adequados	Inclusão formal sem participação efetiva

Fonte: elaboração do autor com base nas referências citadas.

A leitura do quadro sugere que a distância entre recomendação e prática decorre menos de desconhecimento pedagógico do que de incompatibilidade entre o que se recomenda e as condições em que o trabalho é realizado. Programas de formação que transmitem recomendações sem alterar essas condições tendem a produzir, além de efeito limitado, sensação de responsabilização individual por resultados que dependem de fatores institucionais.

5 DESAFIOS, RISCOS, LIMITES E CONDIÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO

Um primeiro obstáculo está na assimetria entre a velocidade de difusão de recursos tecnológicos e a velocidade de produção de evidência sobre seus efeitos. Sistemas são adotados em larga escala antes que estudos adequados sobre seu impacto estejam disponíveis, e a avaliação posterior encontra dificuldade em isolar efeitos, dado que a adoção ocorreu simultaneamente a outras mudanças. Essa assimetria é estrutural e não admite eliminação completa, mas pode ser atenuada por adoção gradual com avaliação incorporada desde o início.

O segundo é a concentração da oferta de plataformas educacionais em número reduzido de fornecedores, com efeitos sobre dependência tecnológica, custo de mudança e controle sobre dados de estudantes. Instituições que constroem processos pedagógicos sobre plataformas específicas encontram dificuldade crescente de migração, e a negociação de condições contratuais tende a ocorrer em posição de desvantagem após a consolidação da dependência.

O terceiro é o risco de que a mensuração induza a redefinição dos objetivos. Sistemas que registram acessos, tempo de uso e desempenho em itens padronizados tornam essas dimensões visíveis para a gestão, e dimensões formativas que não geram registro comparável tendem a receber atenção decrescente. Esse deslocamento não decorre de decisão explícita e é, por isso, particularmente difícil de identificar e corrigir.

O quarto é a possibilidade de que a atribuição de responsabilidade formativa ao indivíduo se amplie. Discursos sobre autonomia, protagonismo e aprendizagem autodirigida contêm elementos pedagogicamente válidos e podem simultaneamente operar como justificativa para redução do apoio institucional. A distinção entre desenvolver autonomia e retirar suporte é essencial e nem sempre é observada na formulação de políticas.

O quinto é a sobrecarga docente decorrente da acumulação de demandas. Cada nova recomendação pedagógica, cada novo sistema a operar e cada novo registro a alimentar adicionam-se a um conjunto de atribuições que raramente é objeto de revisão. A ausência de decisão sobre o que deixará de ser feito quando algo novo é introduzido produz intensificação do trabalho, com efeitos documentados sobre saúde ocupacional e permanência na carreira.

O sexto diz respeito à proteção de dados de estudantes, particularmente de crianças e adolescentes. A operação de plataformas educacionais gera registros sobre comportamento, desempenho e interações cuja retenção, finalidade de uso e compartilhamento nem sempre são objeto de definição explícita nos contratos celebrados pelas instituições. A limitação de finalidade, a definição de prazos de retenção e a transparência sobre compartilhamento constituem requisitos que deveriam integrar a avaliação prévia da adoção.

Uma limitação do próprio campo merece registro. A pesquisa educacional apresenta dificuldades específicas de generalização, decorrentes da dependência dos resultados em relação ao contexto, ao conteúdo, ao nível de ensino e às características dos estudantes e professores envolvidos. Sínteses

quantitativas que agregam estudos heterogêneos produzem estimativas cuja interpretação exige cautela, e a transposição de achados obtidos em determinados sistemas educacionais para outros requer mediação analítica que frequentemente não é realizada.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo partiu da pergunta sobre que educação é necessária para formar pessoas capazes de aprender continuamente, adaptar-se e agir criticamente diante das transformações futuras. A análise desenvolvida sustenta que a resposta depende menos da identificação de recursos tecnológicos adequados do que da explicitação das finalidades formativas pretendidas e da constituição de condições institucionais que tornem seu perseguimento exequível.

O que se sustentou ao longo do texto reduz-se a três proposições. A primeira é que a discussão sobre tecnologia educacional se torna produtiva apenas quando subordinada a decisões pedagógicas fundamentadas. A sequência que parte da ferramenta e busca aplicação produz incorporação cujo efeito não é avaliado e cuja permanência depende de fatores alheios à aprendizagem. A sequência inversa, que parte da dificuldade identificada e examina se algum recurso contribui para superá-la, permite avaliação posterior e revisão fundamentada.

A segunda é que a preservação da mediação docente não constitui defesa corporativa, mas decorre da natureza do conhecimento profissional envolvido no ensino. Decidir como tornar determinado conteúdo compreensível para determinados estudantes, identificar a natureza de um erro, escolher entre explicações alternativas e julgar quando insistir e quando mudar de abordagem são operações que combinam conhecimento do conteúdo, conhecimento pedagógico e conhecimento sobre os estudantes específicos. Sistemas automatizados podem apoiar parte dessas operações e não substituem o julgamento que as articula.

A terceira é que recomendações pedagógicas desacompanhadas de alteração das condições de trabalho tendem a produzir efeito limitado e responsabilização indevida. Avaliação formativa com devolutiva individualizada, aprofundamento em detrimento de cobertura extensiva e experimentação fundamentada com novos recursos exigem tempo, estabilidade e tamanho de turma compatível. A política de valorização profissional é, sob essa ótica, componente da política pedagógica, e não pauta separada dela.

Resta explicitar o que a análise não alcança. Como ensaio teórico de base narrativa, o capítulo não estabelece a robustez agregada da evidência disponível, não examina instituições ou programas concretos e assenta em escolhas de recorte que outro pesquisador poderia rever. Nenhum valor quantitativo sobre tamanho de efeito ou desempenho comparado foi incorporado, opção que preserva a integridade factual ao custo de reduzir a especificidade empírica. As controvérsias sobre eficácia de abordagens instrucionais foram apresentadas como controvérsias, sem resolução que a literatura não sustenta. O quadro apresentado

constitui esquema expositivo destinado a relacionar práticas e condições, e não instrumento de diagnóstico institucional.

Três direções de investigação merecem registro. A primeira é a avaliação de efeitos de sistemas de apoio automatizado sobre a elaboração cognitiva dos estudantes, com desenhos capazes de distinguir entre facilitação produtiva e substituição do esforço. A segunda é o exame das condições sob as quais programas de formação continuada produzem alteração verificável de prática, distinguindo os fatores associados a esse resultado daqueles associados a participação sem mudança. A terceira é a investigação sobre desenhos de avaliação que preservem validade em contextos de ampla disponibilidade de sistemas geradores de texto, com atenção ao custo docente que essas alternativas implicam.

O que sustenta todo o argumento cabe em uma frase: nenhuma tecnologia decide o que vale a pena aprender. Essa decisão permanece integralmente no campo do julgamento humano, informada por conhecimento profissional, submetida a deliberação pública e revisável diante de nova evidência. Recursos digitais ampliam o repertório disponível para realizá-la. A qualidade da educação futura dependerá de quem a toma, com que fundamento e sob que condições de trabalho.

REFERÊNCIAS

BIESTA, Gert. **Good education in an age of measurement: ethics, politics, democracy**. Boulder: Paradigm Publishers, 2010.

BLACK, Paul; WILIAM, Dylan. Assessment and classroom learning. **Assessment in Education: Principles, Policy and Practice**, v. 5, n. 1, p. 7-74, 1998.

BLOOM, Benjamin S. The 2 sigma problem: the search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring. **Educational Researcher**, v. 13, n. 6, p. 4-16, 1984.

BRASIL. **Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996**. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Brasília, DF: Presidência da República, 1996.

BRASIL. **Lei nº 11.738, de 16 de julho de 2008**. Institui o piso salarial profissional nacional para os profissionais do magistério público da educação básica. Brasília, DF: Presidência da República, 2008.

BRASIL. **Lei nº 15.388, de 14 de abril de 2026**. Aprova o Plano Nacional de Educação (PNE). Brasília, DF: Presidência da República, 2026.

BRASIL. **Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015**. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência. Brasília, DF: Presidência da República, 2015.

DUNLOSKY, John et al. Improving students' learning with effective learning techniques: promising directions from cognitive and educational psychology. **Psychological Science in the Public Interest**, v. 14, n. 1, p. 4-58, 2013.

- FREEMAN, Scott et al. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 23, p. 8410-8415, 2014.
- FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia**: saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 1996.
- GATTI, Bernardete A. Formação de professores no Brasil: características e problemas. **Educação e Sociedade**, v. 31, n. 113, p. 1355-1379, 2010.
- HATTIE, John. **Visible learning**: a synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement. London: Routledge, 2009.
- HOLMES, Wayne; BIALIK, Maya; FADEL, Charles. **Artificial intelligence in education**: promises and implications for teaching and learning. Boston: Center for Curriculum Redesign, 2019.
- KIRSCHNER, Paul A.; SWELLER, John; CLARK, Richard E. Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. **Educational Psychologist**, v. 41, n. 2, p. 75-86, 2006.
- MISHRA, Punya; KOEHLER, Matthew J. Technological pedagogical content knowledge: a framework for teacher knowledge. **Teachers College Record**, v. 108, n. 6, p. 1017-1054, 2006.
- NÓVOA, António. **Professores**: imagens do futuro presente. Lisboa: Educa, 2009.
- ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **The future of education and skills**: Education 2030. Paris: OCDE, 2018.
- PAIXÃO, Joelson Lopes da et al. Inteligência artificial no ensino de matemática: um ensaio teórico sobre personalização, mediação docente e desafios ético-epistemológicos. In: OLIVEIRA, Jader (org.). **Sinergias do conhecimento**: saberes em conexão. Formiga: Real Conhecer, 2026a. v. 1, p. 209-226.
- PAIXÃO, Joelson Lopes da; LIMA, Eric de Melo; MATIAS, M. F. Valorização salarial docente e qualidade da educação pública no Brasil: fundamentos, desafios e perspectivas. In: OLIVEIRA, Jader (org.). **Sinergias do conhecimento**: saberes em conexão. Formiga: Real Conhecer, 2026b. v. 1, p. 141-161.
- RISKO, Evan F.; GILBERT, Sam J. Cognitive offloading. **Trends in Cognitive Sciences**, v. 20, n. 9, p. 676-688, 2016.
- ROEDIGER, Henry L.; KARPICKE, Jeffrey D. Test-enhanced learning: taking memory tests improves long-term retention. **Psychological Science**, v. 17, n. 3, p. 249-255, 2006.
- SELWYN, Neil. **Education and technology**: key issues and debates. 2. ed. London: Bloomsbury, 2016.
- SELWYN, Neil. **Should robots replace teachers?** AI and the future of education. Cambridge: Polity Press, 2019.
- SHULMAN, Lee S. Those who understand: knowledge growth in teaching. **Educational Researcher**, v. 15, n. 2, p. 4-14, 1986.

SPARROW, Betsy; LIU, Jenny; WEGNER, Daniel M. Google effects on memory: cognitive consequences of having information at our fingertips. **Science**, v. 333, n. 6043, p. 776-778, 2011.

SWELLER, John; AYRES, Paul; KALYUGA, Slava. **Cognitive load theory**. New York: Springer, 2011.

TARDIF, Maurice. **Saberes docentes e formação profissional**. Petrópolis: Vozes, 2002.

UNESCO. **Reimagining our futures together: a new social contract for education**. Paris: UNESCO, 2021.

UNESCO. **Guidance for generative AI in education and research**. Paris: UNESCO, 2023.

WILLIAMSON, Ben. **Big data in education: the digital future of learning, policy and practice**. London: Sage, 2017.

CAPÍTULO 6

SAÚDE DO FUTURO: INOVAÇÃO, FORMAÇÃO PROFISSIONAL E HUMANIZAÇÃO DO CUIDADO

THE FUTURE OF HEALTH: INNOVATION, PROFESSIONAL EDUCATION AND THE HUMANISATION OF CARE

 <https://doi.org/10.63330/livroautoral912026-006>

Samuel Gonçalves Pinto

Doutor em Ciências do Exercício e do Esporte -Universidade Estadual do Rio de Janeiro/UERJ.
SEDUC/MT

E-mail: samuelpintoeducacao@gmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2049611731367329>
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0469-0467>

Fernanda de Souza Ramos Jobim

Enfermagem pelo Centro Educacional Celso Lisboa. Pós-graduação em Enfermagem em UTI Neonatal e
Pediátrica, Faculdade Batista de Minas Gerais
E-mail: fernandajobim10@gmail.com

Alexandre Braga Soares Júnior

Graduando em Medicina, Centro Universitário Aparício Carvalho - FIMCA
E-mail: alexandre1020junior@gmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2676861487145360>
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4461-5705>

Andréa Leite de Alencar Salgado

Mestre em Educação, UEPA
E-mail: andrealeitesaude@hotmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3331374828364759>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3460-3403>

Maria Gabriela Barcelos Iensen

Bacharel em Educação Física pela UFSM. Pós em personal Treine Prescrição do treinamento
personalizado para a estética, grupo especiais e recuperação de lesões – CBEFIS
E-mail: barcelosmariagabriela@gmail.com

Resumo

Este capítulo analisa como tecnologias digitais e novas demandas sociais modificam a formação, a organização do trabalho e a atuação dos profissionais da saúde, examinando simultaneamente as possibilidades de melhoria assistencial e as condições que determinam se elas se realizam. O problema investigado decorre de uma tensão observável entre a expectativa de que a digitalização amplie a qualidade e a eficiência da assistência e a evidência de que sua implementação, quando desacompanhada de redesenho dos processos de trabalho, pode ampliar a carga administrativa sobre os profissionais e reduzir o tempo dedicado à relação clínica. A pergunta norteadora indaga como modernizar a assistência e melhorar sua qualidade sem perder a dimensão ética, humana e relacional do cuidado. A abordagem é qualitativa e o

gênero é o do ensaio teórico, construído sobre revisão narrativa crítica de literatura da informática em saúde, da avaliação de tecnologias, da bioética, da gestão de serviços e da pesquisa sobre condições de trabalho em saúde. O argumento central sustenta que tecnologias podem ampliar prevenção, monitoramento, organização e apoio às decisões, mas que cuidado de qualidade exige julgamento profissional, comunicação, empatia, segurança, responsabilidade e condições adequadas de trabalho. A discussão percorre a natureza do cuidado, a evidência disponível sobre sistemas de apoio à decisão clínica, a questão dos vieses incorporados a modelos preditivos, os efeitos do registro eletrônico sobre a organização do trabalho, a telessaúde, o monitoramento contínuo, a proteção de dados sensíveis e a saúde mental dos profissionais. Conclui-se que a contribuição das tecnologias digitais depende de avaliação prévia rigorosa, de redesenho dos processos e de preservação da supervisão humana sobre decisões consequentes.

Palavras-chave: Saúde digital; Apoio à decisão clínica; Humanização do cuidado; Condições de trabalho em saúde; Ética em saúde.

Abstract

This chapter analyses how digital technologies and new social demands are reshaping the education, work organisation and practice of health professionals, examining both the possibilities for improved care and the conditions that determine whether they materialise. The problem addressed arises from an observable tension between the expectation that digitalisation will raise the quality and efficiency of care and evidence that its implementation, when unaccompanied by redesign of work processes, may increase the administrative burden on professionals and reduce the time devoted to the clinical relationship. The guiding question asks how care can be modernised and improved without losing its ethical, human and relational dimension. The approach is qualitative and the genre that of a theoretical essay, built on a critical narrative review of scientific, documentary and normative literature drawn from health informatics, technology assessment, bioethics, service management and research on working conditions in health care. The central argument holds that technologies can extend prevention, monitoring, organisation and decision support, but that quality care requires professional judgement, communication, empathy, safety, responsibility and adequate working conditions. The discussion covers the nature of care, the available evidence on clinical decision support systems, biases embedded in predictive models, the effects of electronic records on work organisation, telehealth, continuous monitoring, the protection of sensitive data, and the mental health of professionals. It concludes that the contribution of digital technologies depends on rigorous prior assessment, redesign of processes and preservation of human oversight over consequential decisions.

Keywords: Digital health; Clinical decision support; Humanisation of care; Health workforce conditions; Health ethics.

1 INTRODUÇÃO

A assistência à saúde acumulou, ao longo do último século, transformações técnicas de magnitude excepcional. Métodos diagnósticos por imagem, terapias moleculares, procedimentos minimamente invasivos e sistemas de monitoramento contínuo ampliaram substantivamente a capacidade de identificar, tratar e acompanhar condições que antes permaneciam invisíveis ou intratáveis. Essa trajetória oferece razão sólida para expectativa favorável quanto à incorporação de novas tecnologias.

A mesma trajetória, contudo, produziu efeitos secundários cuja discussão tende a ser menos frequente. A especialização crescente fragmentou o cuidado entre profissionais que raramente comunicam entre si. A ampliação da capacidade diagnóstica ampliou também a detecção de achados cuja significância clínica é incerta. A introdução de sistemas de registro eletrônico, concebidos para melhorar a documentação e a continuidade assistencial, adicionou tarefas administrativas que competem com o tempo dedicado ao paciente. Nenhum desses efeitos foi pretendido, e todos decorrem de decisões de implementação tanto quanto das tecnologias em si.

O debate contemporâneo sobre inteligência artificial em saúde reproduz, com intensidade ampliada, a mesma estrutura de expectativa. Sistemas capazes de identificar padrões em imagens médicas, estratificar risco a partir de dados clínicos e sugerir condutas são apresentados como transformação iminente da prática assistencial. A avaliação rigorosa dessa promessa exige distinguir três níveis frequentemente confundidos: o desempenho de um modelo em conjunto de dados de teste, seu desempenho quando aplicado a população distinta daquela em que foi desenvolvido, e seu efeito sobre desfechos clínicos quando incorporado ao processo assistencial real. A literatura disponível é substancialmente mais robusta no primeiro nível do que nos dois seguintes.

Há ainda uma dimensão que a discussão técnica frequentemente omite. O cuidado em saúde não se reduz à identificação correta de uma condição e à prescrição da conduta indicada. Envolve comunicar diagnósticos difíceis, compreender o contexto de vida que determina a viabilidade de um tratamento, negociar preferências quando existem alternativas legítimas, acompanhar processos de adoecimento que não têm cura e sustentar presença quando a intervenção técnica se esgota. Essas dimensões não são acessórias à prática clínica: constituem parte substantiva do que profissionais de saúde efetivamente fazem, e seu enfraquecimento representa perda de qualidade assistencial ainda que os indicadores técnicos permaneçam favoráveis.

É nessa articulação, entre capacidade técnica ampliada, organização do trabalho e preservação da dimensão relacional do cuidado, que se situa o problema deste capítulo. A hipótese que orienta a análise é

que tecnologias digitais em saúde produzem benefício quando concebidas para reduzir o trabalho que não exige julgamento profissional, liberando tempo e atenção para aquele que exige, e produzem prejuízo quando adicionam tarefas sem retirar outras ou quando deslocam decisões consequentes para sistemas cujos critérios não são acessíveis a quem responde por elas.

A pergunta norteadora é, portanto: **como modernizar a assistência e melhorar sua qualidade sem perder a dimensão ética, humana e relacional do cuidado?** O objetivo é analisar como tecnologias digitais e novas demandas sociais modificam a formação, a organização do trabalho e a atuação dos profissionais da saúde.

Defende-se aqui que tecnologias podem ampliar prevenção, monitoramento, organização e apoio às decisões, mas que cuidado de qualidade exige julgamento profissional, comunicação, empatia, segurança, responsabilidade e condições adequadas de trabalho. A última cláusula não é acessória: comunicação e presença exigem tempo, e sistemas organizados sobre metas de produtividade que reduzem a duração do encontro clínico tornam inexecutáveis as recomendações de humanização formuladas simultaneamente pelas mesmas instituições.

A relevância dessa discussão ultrapassa as profissões da saúde. Gestores decidem sobre aquisição de sistemas cujos efeitos sobre o trabalho assistencial raramente são avaliados previamente. Profissionais de tecnologia desenvolvem soluções cujas premissas sobre o fluxo clínico determinam sua utilidade. Juristas analisam responsabilidade por danos associados a sistemas de apoio à decisão. Formuladores de política definem a incorporação de tecnologias em sistemas públicos com recursos limitados. Pacientes e famílias convivem com os resultados dessas decisões.

Cabe registrar de modo explícito que este capítulo não oferece orientação clínica individual, não formula recomendações diagnósticas ou terapêuticas e não substitui avaliação profissional. Seu objeto são as condições institucionais, formativas e éticas da incorporação tecnológica na assistência.

A discussão está organizada assim. Feita a descrição do método, a fundamentação teórica examina a natureza do cuidado, a evidência sobre sistemas de apoio à decisão, a questão dos vieses, os efeitos do registro eletrônico, a telessaúde, o monitoramento contínuo, a proteção de dados sensíveis e as condições de trabalho. A quarta seção discute possibilidades de aplicação. A quinta trata dos entraves e das condições que sua superação supõe. Ao final, retoma-se a pergunta inicial e delimita-se o alcance do argumento.

2 PERCURSO METODOLÓGICO

A abordagem é qualitativa e o gênero é o do ensaio teórico, construído a partir de revisão narrativa crítica de literatura científica, documental e normativa relacionada ao problema examinado. Nenhum dos protocolos característicos de revisões sistemáticas, de escopo ou integrativas foi observado. Tampouco se

trata de investigação empírica sobre serviços, sistemas ou tecnologias específicas, nem de avaliação de tecnologia em saúde no sentido técnico do termo.

Quatro conjuntos de fontes fundamentam a discussão. O primeiro reúne a literatura sobre qualidade e segurança assistencial e sobre a natureza da relação clínica, que fornece o referencial normativo da análise. O segundo compreende revisões sistemáticas e análises metodológicas sobre desempenho de sistemas de apoio à decisão baseados em aprendizado de máquina, selecionadas especialmente por sua atenção à qualidade do desenho dos estudos primários. O terceiro abrange a pesquisa sobre organização do trabalho em saúde, incluindo estudos sobre alocação de tempo profissional e sobre exaustão ocupacional. O quarto agrega documentos institucionais e normativos, incluindo orientações de organismos internacionais sobre saúde digital e sobre ética de inteligência artificial em saúde, legislação brasileira relativa ao sistema de saúde, à telessaúde e à proteção de dados, e normas deontológicas profissionais.

A escolha das fontes observou a pertinência ao problema formulado, a autoridade reconhecida das fontes em seus campos, a atualidade quando o tema exigia informação contemporânea e a aderência ao objetivo do capítulo. Foi conferida prioridade a fontes que examinam criticamente a qualidade metodológica dos estudos primários, dado que o campo apresenta assimetria conhecida entre o volume de publicações que reportam desempenho favorável e o número de estudos com desenho adequado para sustentar afirmações sobre efeito clínico.

Quatro restrições precisam ser declaradas. A primeira é a ausência de valores quantitativos sobre desempenho de sistemas, prevalência de condições, custos ou indicadores assistenciais. A literatura reporta resultados fortemente dependentes de população, contexto e desenho do estudo, e sua citação fora desse contexto produziria generalização indevida. A segunda é que nenhuma afirmação sobre superioridade diagnóstica ou clínica de sistemas automatizados em relação a profissionais é formulada, uma vez que tais afirmações exigiriam evidência específica por condição, população e desfecho. A terceira é que os documentos normativos e deontológicos foram referenciados quanto ao seu objeto e à sua função, sem reprodução de dispositivos ou requisitos, cuja aplicação exige consulta aos textos vigentes. A quarta é que as observações sobre organização de serviços derivam da literatura consultada e não de verificação direta. As proposições têm estatuto interpretativo, admitem contestação e não se generalizam a qualquer serviço, especialidade ou sistema de saúde.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E DISCUSSÃO CRÍTICA

3.1 O QUE SE ENTENDE POR CUIDADO

Discussões sobre modernização assistencial frequentemente operam com uma concepção implícita de cuidado como sequência de procedimentos tecnicamente corretos aplicados a uma condição

corretamente identificada. Essa concepção captura parte relevante da prática e omite outra parte igualmente relevante.

A formulação que estabeleceu dimensões da qualidade assistencial propôs que o cuidado adequado seja simultaneamente seguro, efetivo, centrado no paciente, oportuno, eficiente e equitativo, explicitando que essas dimensões podem entrar em tensão entre si e que a otimização isolada de uma delas não produz qualidade global (INSTITUTE OF MEDICINE, 2001). A dimensão da centralidade no paciente é a que apresenta relação mais direta com o objeto deste capítulo, uma vez que designa a incorporação de preferências, valores e contexto de vida à decisão clínica.

O desenvolvimento do método clínico centrado na pessoa aprofundou essa formulação ao propor que a consulta articule a compreensão da doença, entendida como entidade biomédica, e a compreensão da experiência de adoecimento, que envolve sentimentos, ideias, efeitos sobre a vida cotidiana e expectativas do paciente, buscando terreno comum quanto ao problema e ao plano de manejo (STEWART et al., 2014). A proposição não é de natureza afetiva, mas técnica: a adesão a um plano terapêutico e a acurácia da própria formulação diagnóstica dependem da qualidade da informação obtida na interação, que por sua vez depende da relação estabelecida.

A perspectiva da medicina narrativa acrescentou dimensão complementar ao propor que a competência de acolher, interpretar e responder a histórias de adoecimento constitui habilidade profissional passível de desenvolvimento sistemático, e não atributo de personalidade (CHARON, 2006). A implicação formativa é relevante: se a competência relacional pode ser ensinada, sua ausência em currículos e em programas de educação permanente representa lacuna corrigível.

O referencial da bioética fornece os princípios que orientam a avaliação normativa das decisões assistenciais, articulando respeito à autonomia, não maleficência, beneficência e justiça, com o reconhecimento de que esses princípios podem conflitar entre si e que sua ponderação em situações concretas exige julgamento e não aplicação mecânica (BEAUCHAMP; CHILDRESS, 2019). Essa característica é particularmente relevante para a discussão sobre automação: sistemas podem otimizar critérios definidos previamente, e a ponderação entre princípios conflitantes em situação singular não se reduz a critério previamente definido.

No sistema brasileiro, a política que estabeleceu diretrizes de humanização propõe a valorização dos diferentes sujeitos implicados no processo de produção de saúde, incluindo usuários, trabalhadores e gestores, e articula a qualidade do cuidado às condições de trabalho das equipes (BRASIL, 2004). Essa articulação é analiticamente importante porque situa a humanização não como atributo de conduta individual, mas como resultado de arranjos organizacionais.

3.2 SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO CLÍNICA: O QUE A EVIDÊNCIA SUSTENTA

O desenvolvimento de modelos de aprendizado de máquina aplicados a dados clínicos e a imagens médicas produziu, em anos recentes, volume expressivo de publicações reportando desempenho favorável. A avaliação crítica dessa produção identificou limitações metodológicas relevantes e recorrentes.

Uma revisão sistemática dedicada à comparação entre desempenho de modelos de aprendizado profundo e profissionais de saúde na detecção de doenças a partir de imagens médicas identificou que, entre o grande número de estudos publicados, apenas uma pequena fração adotava desenho que permitisse comparação adequada, com validação externa e comparação com profissionais sobre a mesma amostra, o que limita substancialmente a possibilidade de conclusões sobre desempenho relativo (LIU et al., 2019). Análise metodológica sobre a qualidade do relato desses estudos identificou problemas recorrentes relacionados à descrição incompleta dos dados, à ausência de validação prospectiva e a afirmações que ultrapassam o que o desenho empregado permite sustentar (NAGENDRAN et al., 2020). Contribuições sobre padrões de relato de modelos preditivos alertaram para o risco de que a aparente novidade metodológica dispense o cumprimento de exigências já consolidadas para modelos de predição clínica (COLLINS; MOONS, 2019).

Essas observações não indicam que os sistemas sejam inúteis. Indicam que o estágio atual da evidência é insuficiente para sustentar afirmações gerais sobre superioridade em relação a profissionais, e que a avaliação precisa ser feita por condição, população e desfecho específicos. A distinção entre desempenho em conjunto de teste, desempenho em população externa e efeito sobre desfecho clínico permanece o eixo analítico central.

A perspectiva favorável à incorporação dessas tecnologias formulou argumento que merece consideração: a expectativa de que a automação de tarefas de reconhecimento de padrões e de processamento de informação libere tempo profissional para a dimensão relacional da prática, revertendo parcialmente a erosão dessa dimensão produzida pela organização atual do trabalho (TOPOL, 2019a; TOPOL, 2019b). Trata-se de possibilidade plausível, cuja realização depende de decisão organizacional sobre o uso do tempo liberado. Se a resposta institucional à redução do tempo por tarefa for o aumento do número de atendimentos, o tempo relacional não se amplia, e a tecnologia terá produzido intensificação em vez de melhoria.

A literatura sobre adoção de tecnologias em saúde oferece referencial analítico útil ao identificar que a não adoção, o abandono e as dificuldades de disseminação e sustentação de soluções tecnológicas decorrem de interação entre a complexidade da condição clínica, da tecnologia, da proposta de valor, do sistema adotante, do contexto organizacional e da capacidade de adaptação ao longo do tempo (GREENHALGH et al., 2017). O referencial explica por que soluções bem avaliadas em estudos controlados frequentemente não se sustentam em operação de rotina.

3.3 VIESES, DADOS DE TREINAMENTO E EQUIDADE

Modelos treinados sobre registros assistenciais aprendem os padrões contidos nesses registros, incluindo padrões que refletem desigualdades de acesso e de tratamento em vez de diferenças clínicas. A demonstração empírica mais consequente desse mecanismo examinou um algoritmo amplamente utilizado para identificar pacientes que se beneficiariam de programas de gestão de cuidado, e identificou que a utilização de custo assistencial prévio como variável de referência para necessidade de saúde produzia subestimação sistemática da necessidade em pacientes negros, uma vez que menor gasto histórico refletia menor acesso e não menor gravidade (OBERMEYER et al., 2019).

Esse caso é instrutivo por três razões. A primeira é que o viés não decorreu de intenção discriminatória nem da inclusão de variável relativa a raça, mas da escolha de uma variável substituta cuja relação com o construto de interesse era mediada por desigualdade estrutural. A segunda é que o problema não seria detectado por métricas de desempenho preditivo convencionais, uma vez que o modelo predizia bem aquilo que fora treinado para predizer. A terceira é que sua identificação exigiu análise específica, desagregada por grupo, que não integra a avaliação padrão desses sistemas.

A generalização adequada dessa constatação é que a avaliação de sistemas preditivos em saúde requer exame explícito da variável de referência adotada, verificação de desempenho desagregado por grupos populacionais relevantes e consideração dos determinantes sociais que medeiam a relação entre os dados disponíveis e o construto de interesse. A literatura sobre determinantes sociais da saúde documenta que condições de vida, trabalho, moradia e acesso a serviços produzem gradientes de saúde que atravessam as populações, e que ignorar esses determinantes na interpretação de dados clínicos produz atribuição incorreta de causalidade (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2008).

Orientações internacionais sobre ética e governança de inteligência artificial aplicada à saúde estabelecem princípios que incluem proteção da autonomia humana, promoção do bem-estar e da segurança, transparência e explicabilidade, responsabilização, inclusão e equidade, e sustentabilidade das aplicações (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2021). Revisão dedicada ao mapeamento da literatura sobre ética de inteligência artificial em saúde identificou que a maior parte das contribuições disponíveis permanece em nível principiológico, com produção comparativamente escassa sobre métodos de tradução desses princípios em procedimentos verificáveis de desenvolvimento e avaliação (MORLEY et al., 2020).

3.4 REGISTRO ELETRÔNICO: ENTRE INTEGRAÇÃO E SOBRECARGA

O prontuário eletrônico foi concebido para resolver problemas reais: ilegibilidade, dispersão de informação entre serviços, perda de registros, dificuldade de recuperação de histórico e ausência de suporte a alertas de segurança. Esses problemas são efetivamente atenuados por sistemas bem implementados, e a

possibilidade de acessar informação clínica de um paciente atendido em serviço distinto representa ganho assistencial substantivo.

A implementação desses sistemas produziu, contudo, efeito documentado sobre a alocação do tempo profissional. Estudo de tempo e movimento em prática ambulatorial identificou que a proporção da jornada dedicada a tarefas administrativas e ao registro eletrônico é substancial e comparável ou superior àquela dedicada ao contato direto com pacientes, com trabalho adicional realizado fora do horário regular (SINSKY et al., 2016). Investigação sobre a relação entre carga de tarefas administrativas e características do ambiente eletrônico identificou associação com maior prevalência de exaustão ocupacional entre médicos (SHANAFELT et al., 2016).

A análise crítica dessa transição argumentou que boa parte dos problemas observados decorre de sistemas concebidos primariamente para finalidades de faturamento, conformidade regulatória e documentação médico-legal, com a função de apoio ao raciocínio clínico ocupando posição secundária no desenho (WACHTER, 2015). A implicação é que a insatisfação profissional com esses sistemas não constitui resistência à mudança, mas avaliação fundamentada de que a ferramenta foi otimizada para objetivos distintos daqueles do trabalho assistencial.

Duas implicações práticas derivam dessa análise. A primeira é que a avaliação de sistemas de registro deveria incluir medida explícita do tempo profissional requerido, e não apenas da completude da documentação obtida. A segunda é que a introdução de qualquer novo requisito de registro deveria ser acompanhada da identificação do que deixará de ser exigido, dado que a acumulação de exigências sem revisão produz intensificação progressiva.

Estratégia nacional de saúde digital estabelecida no Brasil orienta a construção de interoperabilidade entre sistemas de informação em saúde, com objetivo de disponibilizar informação clínica ao longo da rede assistencial (BRASIL, 2020). A interoperabilidade constitui condição técnica necessária para que os ganhos de continuidade assistencial se realizem, e sua ausência converte sistemas isolados em repositórios que reproduzem, em formato digital, a fragmentação que pretendiam superar.

3.5 TELESSAÚDE E ACOMPANHAMENTO REMOTO

A prestação de serviços de saúde a distância deixou de ser modalidade excepcional e passou a integrar a organização regular da assistência em diversos sistemas. Seu potencial mais evidente relaciona-se ao acesso: populações residentes em áreas com escassez de profissionais, pessoas com dificuldade de deslocamento e situações que exigem segunda opinião especializada beneficiam-se de arranjos que reduzem a distância como barreira.

Orientações internacionais sobre implementação de telemedicina destacam que a efetividade dessa modalidade depende de definição clara das situações clínicas adequadas, de infraestrutura de conectividade

e de equipamento compatível, de integração com o registro clínico e de arranjos que assegurem continuidade quando o atendimento remoto identifica necessidade de avaliação presencial (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2022). A estratégia global de saúde digital situa essas modalidades em quadro mais amplo, condicionando seus benefícios à existência de governança, infraestrutura e capacidade institucional adequadas (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2025). Cabe registrar que a edição vigente desse documento corresponde à atualização publicada em 2025, que estendeu a 2027 o horizonte originalmente fixado em 2025 e cujo conteúdo, salvo o cronograma, permanece idêntico ao da versão anterior. A mesma deliberação determinou a elaboração de estratégia sucessora para o período seguinte, o que indica que os parâmetros aqui referidos devem ser verificados quanto à sua atualidade.

No Brasil, legislação específica dispôs sobre a prática da telessaúde no âmbito do Sistema Único de Saúde e da saúde suplementar, estabelecendo princípios que incluem autonomia do profissional e consentimento do paciente (BRASIL, 2022). A regulamentação deontológica da telemedicina estabelece condições de exercício, modalidades reconhecidas e responsabilidades do profissional (CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA, 2022). A articulação entre norma legal e norma deontológica define o quadro em que essa prática se desenvolve, e sua aplicação a situações concretas exige consulta aos textos vigentes, que têm sido objeto de atualização frequente.

Três limitações merecem consideração analítica. A primeira é que a modalidade remota restringe o exame físico e a percepção de elementos não verbais que integram a avaliação clínica, o que a torna adequada a certas situações e inadequada a outras, distinção que precisa ser estabelecida clinicamente e não por conveniência logística. A segunda é que o acesso à modalidade remota depende de conectividade, dispositivo e letramento digital, de modo que sua expansão pode ampliar acesso para alguns grupos e criar barreira adicional para outros, particularmente pessoas idosas e populações com menor acesso a infraestrutura digital. A terceira é o risco de fragmentação: atendimentos remotos prestados por profissionais sem vínculo com a rede assistencial do paciente e sem acesso ao seu histórico podem produzir episódios isolados de cuidado, em detrimento da continuidade que a literatura associa a melhores desfechos.

A discussão sobre organização de redes de atenção à saúde oferece referencial pertinente ao propor que sistemas fragmentados, organizados em torno de atendimento episódico a condições agudas, respondem inadequadamente ao perfil epidemiológico caracterizado pela predominância de condições crônicas, que exigem acompanhamento longitudinal e coordenação entre pontos de atenção (MENDES, 2011). A caracterização dos atributos da atenção primária, incluindo acesso de primeiro contato, longitudinalidade, integralidade e coordenação, fornece os critérios pelos quais arranjos assistenciais podem ser avaliados quanto à sua contribuição para a continuidade (STARFIELD, 2002).

3.6 MONITORAMENTO CONTÍNUO, PREVENÇÃO E OS LIMITES DA DETECÇÃO PRECOCE

Dispositivos capazes de registrar variáveis fisiológicas de modo contínuo ampliaram substancialmente o volume de informação disponível sobre indivíduos fora do ambiente assistencial. As aplicações potenciais incluem acompanhamento de condições crônicas, detecção de descompensação antes que produza evento agudo e apoio à adesão terapêutica.

A avaliação dessas aplicações requer atenção a um problema que a literatura em saúde pública documenta há décadas. A ampliação da capacidade de detecção não equivale automaticamente a benefício clínico, uma vez que a identificação de alterações que jamais produziriam manifestação clínica pode desencadear investigação adicional, intervenção e ansiedade sem correspondente ganho de desfecho. Esse fenômeno é reconhecido em programas de rastreamento e sua magnitude varia conforme a condição, o teste e a população. A aplicação de sensores de uso contínuo a populações sem indicação clínica específica reproduz a estrutura desse problema em escala ampliada, e a avaliação de suas consequências requer estudos com desfechos clinicamente relevantes, e não apenas demonstração de capacidade de detecção.

A implicação prática não é a rejeição dessas tecnologias, mas a distinção entre aplicações com indicação clínica definida, nas quais o monitoramento responde a pergunta específica sobre paciente específico, e aplicações de uso geral, cujo benefício populacional permanece a ser demonstrado. Essa distinção é frequentemente omitida na apresentação comercial dos dispositivos.

Uma segunda consideração diz respeito ao efeito sobre o trabalho assistencial. Dados gerados por dispositivos de uso pessoal chegam aos serviços de saúde na forma de demanda por interpretação, e a ausência de definição sobre quem responde por essa interpretação, em que prazo e com que respaldo produz sobrecarga não planejada sobre equipes já submetidas a demanda elevada.

3.7 DADOS SENSÍVEIS, PRIVACIDADE E SEGURANÇA

Informações sobre saúde integram a categoria de dados cuja divulgação indevida produz consequências particularmente graves, incluindo discriminação em relações de trabalho, seguro e crédito, além de dano à privacidade em dimensão que a pessoa geralmente não pode reparar. No ordenamento brasileiro, dados referentes à saúde recebem tratamento como dados pessoais sensíveis, com hipóteses de tratamento mais restritas do que as aplicáveis a dados pessoais em geral (BRASIL, 2018).

Três questões de desenho merecem atenção. A primeira é a limitação de finalidade: sistemas assistenciais coletam dados para finalidade de cuidado, e sua utilização para finalidades distintas, incluindo pesquisa, gestão ou desenvolvimento de produtos, exige base legal específica e não decorre automaticamente da coleta original. A segunda é o controle de acesso: em ambientes assistenciais com grande número de profissionais, a definição de quem pode acessar quais informações, com registro auditável dos acessos realizados, constitui requisito técnico cuja implementação é frequentemente

insuficiente. A terceira é a segurança dos sistemas: serviços de saúde tornaram-se alvo de incidentes cibernéticos cuja consequência ultrapassa a exposição de dados, podendo comprometer a continuidade da assistência quando sistemas essenciais permanecem indisponíveis.

A anonimização de dados para fins de pesquisa e gestão apresenta dificuldade técnica específica no domínio da saúde, dado que a combinação de informações clínicas, temporais e demográficas pode permitir reidentificação mesmo após remoção de identificadores diretos. Essa característica exige avaliação de risco de reidentificação proporcional à sensibilidade dos dados e ao contexto de compartilhamento, e não apenas cumprimento formal de procedimento de remoção de campos identificadores.

3.8 SOBRECARGA, SAÚDE MENTAL E CONDIÇÕES DE TRABALHO

A exaustão ocupacional entre profissionais de saúde constitui problema documentado com consistência em diversos sistemas e categorias profissionais. Sua caracterização como síndrome relacionada ao contexto de trabalho, envolvendo exaustão emocional, distanciamento em relação ao trabalho e redução da percepção de realização profissional, situa suas causas em condições organizacionais e não em fragilidade individual (MASLACH; LEITER, 2016). Revisão sobre contribuintes, consequências e soluções identificou associação entre exaustão profissional e desfechos que incluem redução da qualidade assistencial, aumento de erros e intenção de deixar a profissão, com evidência de que intervenções organizacionais apresentam efeito superior ao de intervenções dirigidas exclusivamente ao indivíduo (WEST; DYRBYE; SHANAFELT, 2018).

Essa constatação tem implicação direta para o objeto deste capítulo. Programas que respondem à exaustão profissional oferecendo treinamento em resiliência ou práticas de autocuidado, sem alterar carga de trabalho, autonomia decisória, adequação de recursos ou exigências administrativas, deslocam para o indivíduo a responsabilidade por condição de origem organizacional. A discussão sobre saúde mental no trabalho e o papel dos recursos humanos na construção de ambientes organizacionais saudáveis sustenta, em direção convergente, que a atuação sobre o adoecimento relacionado ao trabalho requer intervenção nas condições e na organização do trabalho, e não apenas oferta de apoio individual aos trabalhadores afetados (LEPPAUS et al., 2026).

A relação entre condições de trabalho e qualidade do cuidado estabelece o vínculo entre esta seção e o argumento central do capítulo. Comunicação adequada, escuta atenta e presença exigem disponibilidade cognitiva e emocional que a exaustão compromete. Um profissional submetido a jornada excessiva, com tempo insuficiente por atendimento e com demanda administrativa acumulada, não deixa de praticar humanização por falta de disposição, mas por ausência das condições que a tornam possível. Recomendações de humanização formuladas sem alteração dessas condições produzem, além de efeito limitado, sentimento de responsabilização indevida.

4 POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO, PREPARAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO

4.1 AVALIAÇÃO PRÉVIA À INCORPORAÇÃO

A incorporação de tecnologias em serviços de saúde beneficia-se de procedimento estruturado de avaliação anterior à decisão de aquisição. Perguntas verificáveis podem organizar esse procedimento. Que problema assistencial concreto a tecnologia endereça e como esse problema foi identificado no serviço específico. Que evidência existe sobre seu efeito em desfechos clinicamente relevantes, e não apenas sobre desempenho técnico. Em que população o sistema foi desenvolvido e validado, e qual sua semelhança com a população atendida. Que efeito a incorporação produzirá sobre o tempo profissional, e que atividade deixará de ser exigida em contrapartida. Quem responde por decisões apoiadas pelo sistema e que mecanismo permite contestá-las. Como o desempenho será monitorado após a implantação e em que prazo a decisão será revista.

A ausência de resposta a essas perguntas não impede a adoção, mas a torna decisão não fundamentada, cuja avaliação posterior fica comprometida pela inexistência de critério prévio. O referencial sobre não adoção e abandono de tecnologias em saúde sugere que a atenção às dimensões organizacionais e de contexto, frequentemente subestimadas na fase de decisão, é o que melhor prediz a sustentação da solução ao longo do tempo (GREENHALGH et al., 2017).

4.2 FORMAÇÃO PROFISSIONAL E COMPETÊNCIAS REQUERIDAS

A formação em saúde tem incorporado conteúdos de informática em saúde e de análise de dados em graus variados. A competência mais relevante, contudo, não é operacional. Consiste na capacidade de avaliar criticamente resultados produzidos por sistemas automatizados, o que exige compreensão sobre como o modelo foi desenvolvido, em que população, com que variável de referência, e quais limitações essa configuração implica.

Essa competência é análoga à interpretação crítica de exames complementares, campo em que a formação clínica já dispõe de tradição consolidada. Profissionais aprendem que um resultado laboratorial deve ser interpretado à luz da probabilidade pré-teste, das características de desempenho do exame e do quadro clínico, e que resultados discordantes da avaliação clínica demandam reavaliação e não aceitação automática. A transposição desse raciocínio para saídas de sistemas preditivos constitui caminho formativo com fundamento estabelecido.

Duas competências adicionais merecem registro. A primeira é a comunicação com pacientes sobre o papel de sistemas automatizados em decisões que os afetam, incluindo a explicitação de que a responsabilidade profissional permanece com o profissional. A segunda é a competência relacional propriamente dita, cujo desenvolvimento sistemático encontra fundamento na literatura sobre método

clínico centrado na pessoa e sobre competência narrativa, e cuja presença em currículos permanece desigual (STEWART et al., 2014; CHARON, 2006).

A discussão sobre segurança do paciente contribui ao situar o erro assistencial como resultado de falhas de sistema mais frequentemente do que de falha individual, o que orienta tanto o desenho de tecnologias quanto a cultura organizacional necessária para que erros sejam relatados e analisados em vez de ocultados (INSTITUTE OF MEDICINE, 2000). Sistemas de apoio que introduzem novos modos de falha, incluindo alertas excessivos que produzem dessensibilização e automação que reduz a vigilância profissional, exigem análise sob essa mesma ótica.

4.3 NÍVEIS DE APOIO AUTOMATIZADO E REQUISITOS DE SUPERVISÃO

A discussão sobre automação em saúde beneficia-se da distinção entre graus de envolvimento do sistema na decisão. O Quadro 1 organiza essa distinção e os requisitos de supervisão correspondentes. O quadro constitui esquema analítico elaborado para expor a distinção a partir das referências citadas, e não de classificação normativa ou instrumento de avaliação validado.

Quadro 1 – Graus de apoio automatizado e requisitos correspondentes

Grau	Função do sistema	Requisito de supervisão	Risco predominante
Organização da informação	Recuperar, ordenar e apresentar dados clínicos	Verificação da completude e da atualidade	Informação ausente tratada como inexistente
Alerta	Sinalizar condições predefinidas, como interações e valores críticos	Ajuste de sensibilidade e revisão periódica dos critérios	Dessensibilização por excesso de alertas
Estratificação	Classificar pacientes por risco estimado	Verificação da variável de referência e do desempenho por grupo	Reprodução de desigualdade de acesso como desigualdade de risco
Sugestão diagnóstica	Indicar hipóteses a partir de dados ou imagens	Confronto com avaliação clínica e conhecimento das limitações do modelo	Ancoragem na sugestão apresentada
Recomendação terapêutica	Propor conduta a partir de protocolo ou modelo	Decisão profissional explícita e registro da justificativa	Transferência informal de responsabilidade
Execução automatizada	Ajustar parâmetros de dispositivo sem intervenção	Monitoramento contínuo e possibilidade imediata de interrupção	Falha silenciosa e perda de vigilância

Fonte: elaboração do autor com base nas referências citadas.

A leitura do quadro sugere que o requisito de supervisão se intensifica conforme aumenta o envolvimento do sistema na decisão, e que os riscos predominantes mudam de natureza ao longo dessa

progressão. Nos graus iniciais, o risco principal relaciona-se à qualidade da informação; nos intermediários, a efeitos cognitivos sobre o raciocínio profissional; nos finais, à perda de vigilância sobre processos que operam sem intervenção. Nenhum desses graus dispensa responsabilidade profissional, e a ausência de definição explícita sobre quem responde produz zona de indefinição que prejudica tanto pacientes quanto profissionais.

5 DESAFIOS, RISCOS, LIMITES E CONDIÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO

O primeiro obstáculo é a assimetria entre o volume de evidência sobre desempenho técnico e o volume de evidência sobre efeito clínico. Sistemas são incorporados a serviços com base em demonstrações de acurácia obtidas em conjuntos de dados, sem que estudos sobre seu efeito em desfechos de pacientes estejam disponíveis. Essa assimetria é estrutural, dado que estudos de desfecho são mais custosos e demorados, e sua atenuação depende de exigência regulatória e de disposição institucional para adotar de modo gradual com avaliação incorporada.

O segundo é a degradação de desempenho ao longo do tempo. Modelos desenvolvidos sobre dados de determinado período podem perder validade conforme mudam práticas assistenciais, perfis populacionais, protocolos e sistemas de codificação. A ausência de monitoramento contínuo de desempenho após a implantação constitui lacuna frequente, e sua consequência é a manutenção em operação de sistemas cuja validade não é mais verificada.

O terceiro é a distribuição desigual do acesso às tecnologias. Serviços com maior capacidade de investimento incorporam soluções que ampliam sua capacidade diagnóstica e organizacional, e a diferença resultante pode ampliar assimetrias já existentes entre regiões e entre segmentos do sistema de saúde. Políticas de incorporação em sistemas públicos operam sob restrição orçamentária que exige priorização explícita, e a ausência de critérios claros tende a favorecer tecnologias com maior visibilidade em detrimento daquelas com maior impacto populacional.

O quarto é a indefinição sobre responsabilidade. Quando um profissional segue recomendação de sistema automatizado e o desfecho é desfavorável, a atribuição de responsabilidade envolve o profissional, a instituição que adotou o sistema e o desenvolvedor, em proporções que os arranjos jurídicos e institucionais atuais não definem com clareza. Essa indefinição produz insegurança que pode levar tanto à adesão acrítica quanto à rejeição defensiva, e sua resolução exige elaboração normativa e institucional que ainda está em curso.

O quinto é o efeito cognitivo dos sistemas sobre o raciocínio profissional. A apresentação de uma hipótese diagnóstica por sistema automatizado antes da formulação da hipótese própria pode produzir ancoragem, com redução da consideração de alternativas. Esse efeito é conhecido na literatura sobre decisão

clínica e sugere que o momento e o formato de apresentação da informação automatizada importam tanto quanto sua acurácia.

O sexto é o risco de que a mensuração redefina as prioridades. Sistemas que registram tempo de atendimento, número de procedimentos e cumprimento de protocolos tornam essas dimensões visíveis para a gestão. Dimensões da qualidade assistencial que não geram registro comparável, incluindo a qualidade da comunicação e a adequação da decisão ao contexto de vida do paciente, tendem a receber atenção institucional decrescente, sem que essa redução seja objeto de decisão explícita.

Uma limitação do próprio campo merece registro. Parcela substantiva da literatura sobre saúde digital e sobre inteligência artificial em saúde foi produzida em sistemas de saúde com características organizacionais, de financiamento e de perfil populacional distintas das brasileiras. A transposição de suas conclusões exige mediação analítica, e a produção de investigação sobre implementação em contextos de sistema público universal com restrição de recursos permanece agenda relevante.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo partiu da pergunta sobre como modernizar a assistência e melhorar sua qualidade sem perder a dimensão ética, humana e relacional do cuidado. A análise desenvolvida sustenta que a resposta depende menos das características das tecnologias disponíveis do que das decisões sobre o que elas devem substituir, sobre como o tempo eventualmente liberado será utilizado e sobre quem permanece responsável pelas decisões que afetam pacientes.

Três proposições resumem o argumento. A primeira é que a avaliação de sistemas de apoio à decisão exige distinguir desempenho técnico, validade em população externa e efeito sobre desfechos clínicos. A literatura disponível é substancialmente mais robusta no primeiro nível, e afirmações sobre superioridade em relação a profissionais carecem, no estágio atual, de sustentação que permita generalização. A postura adequada consiste em avaliar por condição, população e desfecho, e em manter monitoramento de desempenho após a implantação.

A segunda é que tecnologias produzem benefício assistencial quando reduzem trabalho que não exige julgamento profissional e produzem prejuízo quando adicionam tarefas sem retirar outras. Essa distinção depende de decisão organizacional e não de propriedade da tecnologia. A experiência com sistemas de registro eletrônico ilustra o padrão: ferramentas que resolvem problemas reais de documentação e continuidade podem simultaneamente ampliar a carga sobre profissionais quando concebidas primariamente para finalidades administrativas e implantadas sem revisão das exigências acumuladas.

A terceira é que a dimensão relacional do cuidado depende de condições de trabalho que a tornem exequível. Comunicação adequada, escuta e presença exigem tempo e disponibilidade cognitiva. Programas de humanização formulados sem alteração da carga de trabalho, da autonomia decisória e das exigências

administrativas transferem para o profissional a responsabilidade por resultado que depende de fatores organizacionais. A política de condições de trabalho é, sob essa ótica, componente da política de qualidade assistencial.

O alcance deste texto exige delimitação expressa. Por ser ensaio de base narrativa, o texto não estabelece a robustez agregada da evidência disponível, não examina serviços ou tecnologias concretas e traduz escolhas de recorte que admitem alternativa. Nenhum valor quantitativo sobre desempenho de sistemas, indicadores assistenciais ou custos foi incorporado, e nenhuma afirmação sobre superioridade diagnóstica de sistemas automatizados foi formulada, opções que preservam a integridade factual ao custo de reduzir a especificidade empírica. Os documentos normativos e deontológicos foram referenciados quanto ao seu objeto, sem reprodução de dispositivos, e têm sido objeto de atualização frequente, o que exige consulta às versões vigentes. O quadro apresentado constitui esquema expositivo destinado a organizar graus de apoio automatizado, e não classificação normativa. O texto não oferece orientação clínica individual.

A discussão sugere três frentes de investigação. A primeira é a avaliação de efeito de sistemas de apoio à decisão sobre desfechos de pacientes em condições de operação de rotina, superando a predominância de estudos sobre desempenho em conjuntos de dados. A segunda é o exame do efeito de tecnologias assistenciais sobre a alocação do tempo profissional, com atenção explícita ao que é adicionado e ao que é retirado das rotinas de trabalho. A terceira é a investigação sobre desempenho desagregado de modelos preditivos em subgrupos populacionais relevantes no contexto brasileiro, dado que os mecanismos de viés documentados na literatura internacional dependem de características do sistema de saúde em que os dados foram gerados.

Em síntese direta, nenhum sistema assume responsabilidade. A responsabilidade por uma decisão que afeta a vida de uma pessoa permanece com profissionais e instituições, e arranjos que a diluem sem redistribuí-la explicitamente produzem prejuízo tanto para quem recebe quanto para quem presta o cuidado. Tecnologias ampliam a informação disponível e a capacidade de organizá-la. A decisão sobre o que fazer com essa informação, diante de uma pessoa determinada e de sua situação concreta, permanece integralmente humana.

REFERÊNCIAS

BEAUCHAMP, Tom L.; CHILDRESS, James F. **Principles of biomedical ethics**. 8. ed. New York: Oxford University Press, 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. **HumanizaSUS**: política nacional de humanização. Brasília: Ministério da Saúde, 2004.

BRASIL. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018**. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Brasília, DF: Presidência da República, 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Estratégia de saúde digital para o Brasil 2020-2028**. Brasília: Ministério da Saúde, 2020.

BRASIL. **Lei nº 14.510, de 27 de dezembro de 2022**. Altera a Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990, para autorizar e disciplinar a prática da tele saúde em todo o território nacional. Brasília, DF: Presidência da República, 2022.

CHARON, Rita. **Narrative medicine: honoring the stories of illness**. New York: Oxford University Press, 2006.

COLLINS, Gary S.; MOONS, Karel G. M. Reporting of artificial intelligence prediction models. **The Lancet**, v. 393, n. 10181, p. 1577-1579, 2019.

CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA (CFM). **Resolução nº 2.314, de 20 de abril de 2022**. Define e regulamenta a telemedicina como forma de serviços médicos mediados por tecnologias de comunicação. Brasília, DF: CFM, 2022.

GREENHALGH, Trisha et al. Beyond adoption: a new framework for theorizing and evaluating nonadoption, abandonment, and challenges to the scale-up, spread, and sustainability of health and care technologies. **Journal of Medical Internet Research**, v. 19, n. 11, 2017.

INSTITUTE OF MEDICINE. **To err is human: building a safer health system**. Washington: National Academy Press, 2000.

INSTITUTE OF MEDICINE. **Crossing the quality chasm: a new health system for the 21st century**. Washington: National Academy Press, 2001.

LEPPAUS, Raíza Meir Knust et al. Saúde mental no trabalho e o papel estratégico dos recursos humanos na construção de ambientes organizacionais saudáveis. In: PAIXÃO, Joelson Lopes da et al. (org.). **Transformação digital, inovação e impactos multidisciplinares: perspectivas do direito, da saúde, da engenharia e da gestão**. Curitiba: Aurum Editora, 2026. v. 1, p. 101-110.

LIU, Xiaoxuan et al. A comparison of deep learning performance against health-care professionals in detecting diseases from medical imaging: a systematic review and meta-analysis. **The Lancet Digital Health**, v. 1, n. 6, p. e271-e297, 2019.

MASLACH, Christina; LEITER, Michael P. Understanding the burnout experience: recent research and its implications for psychiatry. **World Psychiatry**, v. 15, n. 2, p. 103-111, 2016.

MENDES, Eugênio Vilaça. **As redes de atenção à saúde**. 2. ed. Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde, 2011.

MORLEY, Jessica et al. The ethics of AI in health care: a mapping review. **Social Science and Medicine**, v. 260, 2020.

NAGENDRAN, Myura et al. Artificial intelligence versus clinicians: systematic review of design, reporting standards, and claims of deep learning studies. **BMJ**, v. 368, 2020.

OBERMEYER, Ziad et al. Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations. **Science**, v. 366, n. 6464, p. 447-453, 2019.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Closing the gap in a generation: health equity through action on the social determinants of health**. Genebra: OMS, 2008.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Ethics and governance of artificial intelligence for health: WHO guidance**. Genebra: OMS, 2021.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Consolidated telemedicine implementation guide**. Genebra: OMS, 2022.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Global strategy on digital health 2020-2027**. Genebra: OMS, 2025. ISBN 978-92-4-011687-0.

SHANAFELT, Tait D. et al. Relationship between clerical burden and characteristics of the electronic environment with physician burnout and professional satisfaction. **Mayo Clinic Proceedings**, v. 91, n. 7, p. 836-848, 2016.

SINSKY, Christine et al. Allocation of physician time in ambulatory practice: a time and motion study in 4 specialties. **Annals of Internal Medicine**, v. 165, n. 11, p. 753-760, 2016.

STARFIELD, Barbara. **Atenção primária: equilíbrio entre necessidades de saúde, serviços e tecnologia**. Brasília: UNESCO; Ministério da Saúde, 2002.

STEWART, Moira et al. **Patient-centered medicine: transforming the clinical method**. 3. ed. London: Radcliffe, 2014.

TOPOL, Eric J. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. **Nature Medicine**, v. 25, p. 44-56, 2019a.

TOPOL, Eric J. **Deep medicine: how artificial intelligence can make healthcare human again**. New York: Basic Books, 2019b.

WACHTER, Robert M. **The digital doctor: hope, hype, and harm at the dawn of medicine's computer age**. New York: McGraw-Hill, 2015.

WEST, Colin P.; DYRBYE, Liselotte N.; SHANAFELT, Tait D. Physician burnout: contributors, consequences and solutions. **Journal of Internal Medicine**, v. 283, n. 6, p. 516-529, 2018.

CAPÍTULO 7

O FUTURO DO DIREITO: REGULAÇÃO, INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E PROTEÇÃO DE DIREITOS

THE FUTURE OF LAW: REGULATION, ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND THE PROTECTION OF RIGHTS

 <https://doi.org/10.63330/livroautoral912026-007>

Luiz Corrêa de Mello Neto

Especialista em Direito Público, Universidade Potiguar - UnP

E-mail: drluizmello@icloud.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3216097893204684>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5786-6706>

Allyson Ribeiro Lima

Formação: Especialista em Direito Constitucional

E-mail: allysonlima0@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2785199854385949>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7971-3989>

Ricardo de Castro Savoldi

Especialista em Direito Aplicado, Escola da Magistratura do Paraná (EMAP)

E-mail: rsavoldi@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8508295695592296>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6152-7802>

Maitê Guimarães Pinto

Mestra em Administração (PPGA/UNIPAMPA)

E-mail: maiteguimaraespinto@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8118305007288739>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0759-1774>

Paulo Bernardes Honório de Mendonça

Mestre em Direito; MCTI; Brasília-DF, Brasil

E-mail: paulobhm@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9287205496948991>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1883-0664>

Resumo

Este capítulo examina os desafios jurídicos produzidos pela digitalização da sociedade e pela adoção de sistemas automatizados em atividades com efeitos sobre direitos. O problema investigado decorre de um descompasso estrutural entre o ritmo de desenvolvimento das tecnologias e a velocidade dos processos de elaboração normativa, decisão judicial e consolidação doutrinária, descompasso que produz períodos em que situações socialmente relevantes carecem de disciplina específica e em que institutos concebidos para outras realidades são aplicados por analogia com resultados variáveis. A pergunta norteadora indaga como o Direito pode acompanhar a velocidade das transformações tecnológicas sem comprometer garantias

fundamentais, segurança jurídica e responsabilidade humana. O capítulo é um ensaio teórico qualitativo, apoiado em revisão narrativa crítica de literatura jurídica, técnica e documental, com atenção à distinção rigorosa entre legislação vigente, proposição legislativa em tramitação, ato normativo administrativo, doutrina e recomendação ética. O argumento central sustenta que a inovação pode ampliar eficiência e acesso à justiça, mas que decisões com efeitos jurídicos exigem transparência, contestabilidade, proteção de dados, responsabilização e supervisão humana compatível com os direitos envolvidos. A discussão percorre o descompasso regulatório, a digitalização do processo, os sistemas de apoio à decisão, os limites da explicabilidade, a questão dos vieses, a responsabilidade por decisões automatizadas, o regime de proteção de dados no ordenamento brasileiro e as transformações em contratos e provas. Conclui-se que a proteção efetiva de direitos em ambientes automatizados depende menos da proibição de tecnologias do que do desenho institucional da contestabilidade.

Palavras-chave: Regulação de tecnologias; Inteligência artificial e direito; Proteção de dados; Devido processo; Acesso à justiça.

Abstract

This chapter examines the legal challenges produced by the digitalisation of society and the adoption of automated systems in activities affecting rights. The problem addressed stems from a structural mismatch between the pace of technological development and the speed of lawmaking, judicial decision and doctrinal consolidation, a mismatch that produces periods in which socially relevant situations lack specific regulation and in which legal institutions designed for other realities are applied by analogy with variable results. The guiding question asks how law can keep pace with technological transformation without compromising fundamental guarantees, legal certainty and human responsibility. The chapter is a qualitative theoretical essay grounded in a critical narrative review of legal, technical and documentary literature, with careful distinction between legislation in force, pending legislative proposals, administrative regulation, doctrine and ethical recommendation. The central argument holds that innovation can expand efficiency and access to justice, but that decisions with legal effects require transparency, contestability, data protection, accountability and human oversight proportionate to the rights involved. The discussion covers the regulatory mismatch, the digitalisation of judicial proceedings, decision support systems, the limits of explainability, algorithmic bias, liability for automated decisions, the Brazilian data protection regime, and transformations in contracts and evidence. It concludes that the effective protection of rights in automated environments depends less on prohibiting technologies than on the institutional design of contestability.

Keywords: Technology regulation; Artificial intelligence and law; Data protection; Due process; Access to justice.

1 INTRODUÇÃO

O Direito opera por meio de categorias construídas ao longo do tempo para ordenar relações sociais recorrentes. Contrato, propriedade, responsabilidade civil, culpabilidade e devido processo são institutos cuja formulação atual resulta de séculos de elaboração doutrinária, decisão judicial e produção legislativa. Essa estabilidade constitui virtude, uma vez que fundamenta a previsibilidade das relações jurídicas, e simultaneamente limitação, quando situações novas apresentam características que as categorias existentes capturam de modo imperfeito.

Situações dessa natureza multiplicaram-se com a digitalização das relações sociais e econômicas. Quando um sistema automatizado nega crédito, seleciona candidatos, estratifica risco de reincidência ou recomenda conduta com efeitos patrimoniais, produz-se consequência jurídica cuja atribuição de responsabilidade envolve o desenvolvedor do sistema, quem o adotou, quem o operou e quem definiu seus parâmetros. As categorias tradicionais de responsabilidade foram elaboradas para condutas humanas identificáveis, e sua aplicação a cadeias distribuídas de decisão produz resultados que a doutrina ainda está elaborando.

Há um segundo problema, de natureza processual. Garantias fundamentais como o contraditório e a ampla defesa pressupõem que a pessoa afetada por uma decisão conheça seus fundamentos e possa contestá-los. Quando a decisão resulta de modelo estatístico cuja lógica interna não é acessível nem mesmo a quem o opera, a contestação encontra obstáculo que não é jurídico, mas epistêmico. A resposta a esse obstáculo não se resolve declarando um direito à explicação, uma vez que a explicação tecnicamente possível pode não corresponder à explicação juridicamente útil.

Há ainda um terceiro elemento, relativo ao tempo. Processos legislativos democráticos são lentos por desenho, dado que envolvem deliberação, contraditório e formação de maioria. Processos de desenvolvimento tecnológico são rápidos por incentivo econômico. A diferença de ritmo produz períodos prolongados em que práticas socialmente relevantes operam sem disciplina específica, e a tentativa de acelerar a resposta normativa esbarra em dificuldade adicional: legislar sobre tecnologia em estágio inicial de desenvolvimento arrisca fixar soluções que se tornarão obsoletas ou inadequadas.

É nessa articulação que se situa o problema aqui enfrentado. A hipótese que orienta a análise é que a proteção de direitos em ambientes automatizados depende menos da capacidade de antecipar normativamente cada tecnologia específica do que do fortalecimento de garantias procedimentais que independem da configuração técnica adotada, entre as quais o dever de informar, a possibilidade de contestação e a atribuição clara de responsabilidade humana.

A pergunta norteadora é, portanto: **como o Direito pode acompanhar a velocidade das transformações tecnológicas sem comprometer garantias fundamentais, segurança jurídica e responsabilidade humana?** O objetivo é refletir sobre os desafios jurídicos produzidos pela digitalização da sociedade e pela adoção de inteligência artificial e sistemas automatizados.

A tese que o capítulo sustenta é que a inovação pode ampliar eficiência e acesso à justiça, mas que decisões com efeitos jurídicos exigem transparência, contestabilidade, proteção de dados, responsabilização e supervisão humana compatível com os direitos envolvidos. A expressão compatível com os direitos envolvidos indica que a intensidade da exigência deve variar conforme a consequência da decisão, e não ser uniforme.

Cabe registrar que este capítulo não constitui orientação jurídica sobre situações concretas, não formula interpretação autorizada de dispositivos normativos e não substitui consulta profissional. As referências normativas indicam objeto e função dos diplomas mencionados, sem reprodução de dispositivos, e a legislação sobre tecnologia tem sido objeto de alteração frequente, o que exige consulta aos textos vigentes.

A exposição obedece à seguinte ordem. Após o percurso metodológico, a fundamentação teórica examina o descompasso entre inovação e regulação, a digitalização do processo e dos serviços jurídicos, os sistemas de apoio à decisão, os limites da explicabilidade, a questão dos vieses, a responsabilidade por decisões automatizadas, o regime de proteção de dados e as transformações em contratos e provas. A quarta seção discute possibilidades de aplicação. A quinta percorre os obstáculos que a implementação encontra. O encerramento retoma a pergunta inicial e demarca os limites da análise.

2 PERCURSO METODOLÓGICO

O capítulo é um ensaio teórico de natureza qualitativa, elaborado a partir de revisão narrativa crítica de literatura jurídica, técnica e documental relacionada ao problema em exame. Os procedimentos que caracterizam revisões sistemáticas, de escopo ou integrativas não foram adotados, tampouco se realizou pesquisa jurisprudencial com levantamento, seleção e análise sistemática de decisões judiciais.

O material examinado distribui-se por quatro conjuntos. O primeiro reúne a doutrina jurídica sobre regulação de tecnologias, proteção de dados e devido processo aplicado a decisões automatizadas. O segundo compreende a literatura interdisciplinar sobre opacidade algorítmica, equidade em sistemas preditivos e limites da explicabilidade, produzida na interface entre direito, ciência da computação e filosofia política. O terceiro abrange contribuições sobre transformação das profissões jurídicas e sobre acesso à justiça. O quarto agrega documentos normativos, incluindo legislação brasileira, atos normativos de órgãos com competência regulamentar e instrumentos normativos estrangeiros de referência.

Foi adotado cuidado específico, exigido pela natureza do tema, na distinção entre categorias normativas de estatuto distinto. Legislação vigente é identificada como tal. Proposições legislativas em tramitação são identificadas expressamente como projetos, sem atribuição de eficácia. Atos normativos administrativos são identificados quanto ao órgão emissor e ao âmbito de aplicação. Doutrina e recomendações éticas são apresentadas como posições sustentadas por seus autores, e não como conteúdo normativo vinculante. Nenhuma decisão judicial específica é citada, nem se afirma a existência de entendimento jurisprudencial consolidado sobre as questões discutidas.

Quatro restrições exigem menção expressa. A primeira é a ausência de reprodução de dispositivos normativos, cuja aplicação exige consulta aos textos vigentes e cuja interpretação depende de contexto que este capítulo não fornece. A segunda é que a legislação e a regulamentação sobre tecnologia têm sido objeto de alteração frequente. A situação normativa descrita corresponde à data de corte adotada na redação deste capítulo, agosto de 2026, e deve ser verificada quanto à sua atualidade no momento da consulta. A terceira é que não se formulam afirmações sobre a existência ou o conteúdo de precedentes judiciais. A quarta é que as observações sobre práticas institucionais derivam da literatura consultada e não de verificação direta. O que se sustenta adiante é interpretação sujeita a exame.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E DISCUSSÃO CRÍTICA

3.1 O DESCOMPASSO ENTRE INOVAÇÃO E SUPERVISÃO JURÍDICA

A literatura sobre regulação de tecnologias emergentes designa como descompasso a diferença sistemática entre o ritmo de desenvolvimento e difusão de novas tecnologias e o ritmo dos processos jurídicos e éticos de supervisão, com a consequência de que a resposta institucional tende a chegar quando a tecnologia já se estabilizou socialmente (MARCHANT; ALLENBY; HERKERT, 2011). O fenômeno não decorre de deficiência dos sistemas jurídicos, mas de características constitutivas: deliberação democrática, contraditório e formação de consenso exigem tempo que a produção tecnológica não observa.

A resposta a esse descompasso divide-se, na literatura, entre duas orientações. A primeira propõe que a regulação incida sobre resultados e riscos, e não sobre tecnologias específicas, de modo que a norma permaneça aplicável independentemente da configuração técnica adotada. A segunda propõe instrumentos regulatórios adaptativos, incluindo cláusulas de revisão periódica, ambientes controlados de experimentação e delegação de detalhamento técnico a órgãos com capacidade de atualização mais rápida. A análise sobre a relação entre direito, tecnologia e sociedade argumenta que o ambiente regulatório precisa ser reimaginado para incorporar não apenas normas dirigidas a condutas, mas também as formas pelas quais a própria tecnologia condiciona comportamentos antes que qualquer norma seja aplicada (BROWNSWORD, 2019).

Essa última observação remete à proposição de que a arquitetura técnica dos sistemas funciona como modalidade de regulação, ao lado da norma jurídica, do mercado e das normas sociais, de modo que decisões de projeto determinam possibilidades de conduta com eficácia frequentemente superior à das normas formais (LESSIG, 2006). A implicação para o Direito é que a atenção exclusiva ao texto normativo pode ignorar onde a regulação efetiva está sendo produzida.

A análise sobre as consequências das tecnologias inteligentes para o direito aprofunda essa preocupação ao argumentar que sistemas capazes de antecipar e influenciar comportamento operam sobre pressupostos do Estado de Direito, incluindo a possibilidade de conhecer previamente as normas aplicáveis e de contestar sua aplicação, e que a preservação desses pressupostos exige tradução das garantias jurídicas para a arquitetura dos próprios sistemas (HILDEBRANDT, 2015). A discussão sobre inteligência artificial e transformações no sistema jurídico converge nessa direção ao articular ganhos de eficiência processual, questões de governança algorítmica e desafios para o Estado de Direito, situando a eficiência como valor legítimo que não pode ser perseguido em detrimento das garantias que fundamentam a legitimidade das decisões (CASTRO et al., 2026).

3.2 DIGITALIZAÇÃO DO PROCESSO E DOS SERVIÇOS JURÍDICOS

A informatização do processo judicial no Brasil possui base normativa consolidada, com disciplina legal específica sobre a prática de atos processuais por meio eletrônico, comunicação e transmissão de peças (BRASIL, 2006). O Código de Processo Civil incorporou a prática eletrônica em diversos dispositivos, e atos normativos do órgão de controle administrativo e financeiro do Poder Judiciário disciplinaram modalidades de tramitação integralmente digital, mediante adesão das partes (CONSELHO NACIONAL DE JUSTIÇA, 2020).

Os ganhos dessa transição são identificáveis: redução de custos de deslocamento e de armazenamento físico, ampliação do acesso a autos, possibilidade de atuação de advogados distantes da comarca e redução de tempos mortos entre atos processuais. Nenhum desses ganhos é desprezível.

Duas limitações merecem exame. A primeira é que a redução do tempo de tramitação de atos não equivale necessariamente à redução do tempo total de solução do conflito, uma vez que o tempo processual concentra-se predominantemente em fases que dependem de decisão e não de movimentação. A segunda é que a digitalização pressupõe acesso a dispositivo, conectividade e letramento digital, de modo que sua adoção uniforme pode ampliar acesso para parte da população e criar barreira adicional para outra parte.

A discussão clássica sobre acesso à justiça identificou barreiras econômicas, organizacionais e processuais à efetivação de direitos, e propôs que a resposta a essas barreiras exige transformações que ultrapassam o processo judicial, incluindo representação de interesses difusos e simplificação de

procedimentos (CAPPELLETTI; GARTH, 1988). A transposição dessa análise para o ambiente digital sugere que a barreira tecnológica se acrescenta às anteriores, e não as substitui.

A proposição sobre tribunais em linha argumenta que a resolução de conflitos de menor complexidade por meio de plataformas digitais pode ampliar substancialmente o acesso, especialmente para pessoas que não recorrem ao sistema judicial pelo custo e pela complexidade de fazê-lo, desde que o desenho preserve garantias essenciais e ofereça alternativas para quem não acessa o meio digital (SUSSKIND, 2019). A proposta é objeto de debate, com críticas relativas à redução da oralidade, à assimetria entre partes com capacidades técnicas distintas e ao risco de que o acesso ampliado seja a uma justiça de qualidade inferior.

Quanto aos serviços jurídicos, a análise sobre o futuro das profissões sustenta que atividades intensivas em conhecimento tendem a ser decompostas em tarefas, com parte delas passível de padronização, sistematização e execução por meios não convencionais, o que altera a estrutura de organização do trabalho profissional (SUSSKIND; SUSSKIND, 2015). A tese é sustentada com evidência de diversos campos e permanece objeto de controvérsia quanto à extensão de sua aplicação, particularmente nas atividades que envolvem julgamento em situações singulares.

3.3 SISTEMAS DE APOIO À PESQUISA, À ANÁLISE E À DECISÃO

A aplicação de processamento de linguagem a bases jurídicas produziu ferramentas de pesquisa que superam substancialmente a busca por palavras-chave, permitindo identificar decisões e dispositivos relevantes a partir de descrição do problema em linguagem natural. Ferramentas de análise documental permitem localizar cláusulas, identificar divergências entre versões e extrair informação estruturada de grandes volumes de documentos. Essas aplicações incidem sobre atividades cujo caráter é predominantemente instrumental, e seu ganho de produtividade é verificável.

Aplicações que incidem sobre a decisão apresentam natureza distinta. Sistemas que classificam petições, sugerem minutas, estimam probabilidade de determinado resultado ou identificam padrões decisórios interferem no processo de formação da convicção, e sua avaliação exige critérios que não se reduzem a acurácia.

No âmbito do Poder Judiciário brasileiro, a matéria recebeu disciplina específica por ato normativo do órgão de controle administrativo e financeiro do Judiciário, que estabelece normas para o desenvolvimento, a governança, a auditoria, o monitoramento e o uso responsável de soluções que adotam técnicas de inteligência artificial, com estrutura organizada em torno de classificação por grau de risco, exigências de supervisão humana e requisitos de auditabilidade (CONSELHO NACIONAL DE JUSTIÇA, 2025). Esse ato substituiu a disciplina anterior, editada em 2020, cuja formulação antecedeu a difusão de modelos generativos de linguagem e não contemplava as questões que essa difusão introduziu. A sucessão

normativa é, em si, ilustrativa do descompasso discutido na seção anterior: foram necessários cerca de cinco anos para que a regulamentação setorial incorporasse uma transformação técnica cuja relevância já era evidente no momento da edição da norma anterior.

Duas características dessa disciplina merecem registro analítico. A primeira é a adoção de graduação por risco, que aproxima o tratamento setorial da orientação predominante no debate regulatório internacional e evita submeter aplicações de baixa consequência a exigências desenhadas para aplicações que afetam direitos. A segunda é a exigência de supervisão humana, cuja efetividade depende, como se discute adiante, da proporcionalidade entre o volume de decisões submetidas a revisão e os recursos alocados a ela. Trata-se de ato administrativo com âmbito de aplicação definido, e não de lei, distinção relevante para a compreensão de seu alcance e de seus mecanismos de exigibilidade. Atos dessa natureza são, ademais, suscetíveis de alteração por novos atos do mesmo órgão: a própria disciplina aqui referida teve seu artigo 15 alterado em 2026, quanto à composição do comitê nacional encarregado do tema, o que recomenda consulta ao texto consolidado vigente no momento da leitura (CONSELHO NACIONAL DE JUSTIÇA, 2026).

Um risco específico merece atenção. Sistemas treinados sobre decisões anteriores aprendem os padrões nelas contidos, incluindo eventuais assimetrias de tratamento. Sua utilização como referência para decisões futuras pode consolidar esses padrões, reduzindo a possibilidade de correção que a evolução jurisprudencial ordinariamente permite. O efeito não decorre de erro do sistema, que reproduz fielmente o que aprendeu, mas da natureza da tarefa: a função jurisdicional inclui a possibilidade de revisar entendimentos anteriores, e sistemas otimizados para reproduzir o padrão histórico operam em sentido contrário a essa função.

Um segundo risco relaciona-se ao efeito cognitivo sobre quem decide. A apresentação de uma sugestão antes da formação da convicção própria pode produzir ancoragem, reduzindo a consideração de alternativas. O momento e o formato da apresentação da informação automatizada importam, portanto, tanto quanto seu conteúdo.

3.4 OPACIDADE, EXPLICABILIDADE E O ALCANCE DO DEVER DE INFORMAR

A dificuldade de compreender a lógica interna de modelos estatísticos complexos tem sido caracterizada como opacidade, e sua discussão jurídica frequentemente conclui pela necessidade de um direito à explicação. A análise dessa conclusão exige distinguir três objetos possíveis de explicação: a lógica geral do sistema, os fatores que mais contribuíram para determinada decisão individual e a orientação sobre o que a pessoa poderia alterar para obter resultado distinto.

A análise crítica sobre o regime europeu de proteção de dados argumentou que os dispositivos frequentemente invocados como fundamento de um direito à explicação de decisões automatizadas

sustentam, em rigor, um dever de informação sobre a lógica envolvida no tratamento, formulado de modo mais restrito do que a leitura corrente supõe, e que a existência de direito a explicação de decisão individual específica não decorre inequivocamente do texto normativo (WACHTER; MITTELSTADT; FLORIDI, 2017). Posição divergente sustentou que a interpretação sistemática do regime, considerando seus objetivos e o conjunto de direitos conferidos ao titular, permite sustentar exigência mais robusta de informação significativa, ainda que a expressão comporte indeterminação (SELBST; POWLES, 2017). A controvérsia permanece relevante porque delimita o que pode ser exigido dos controladores.

A crítica à opacidade em contextos de avaliação e classificação de pessoas argumenta que sistemas de pontuação com efeitos consequentes sobre crédito, emprego e reputação operam sem que os avaliados conheçam os critérios aplicados, tenham acesso aos dados utilizados ou disponham de meios efetivos de correção, configuração que reproduz assimetria de poder sob aparência de objetividade técnica (PASQUALE, 2015).

Do ponto de vista do desenho institucional, uma proposição merece consideração: a exigência juridicamente relevante talvez não seja a explicação do funcionamento interno do modelo, mas a contestabilidade da decisão. Uma pessoa que possa conhecer os dados utilizados, apontar sua incorreção, apresentar informação adicional e obter revisão por decisor humano dispõe de proteção efetiva ainda que a lógica interna do modelo permaneça inacessível. Inversamente, uma explicação técnica detalhada sem possibilidade de revisão oferece transparência sem remédio.

No ordenamento brasileiro, a legislação de proteção de dados assegura ao titular o direito de solicitar revisão de decisões tomadas unicamente com base em tratamento automatizado que afetem seus interesses, bem como o direito a informações sobre os critérios e procedimentos utilizados, observados os segredos comercial e industrial (BRASIL, 2018). A articulação entre esse direito e a proteção do segredo comercial constitui um dos pontos de tensão do regime, cuja resolução em situações concretas depende de ponderação que a norma não predefine.

3.5 VIESES E O PROBLEMA DA EQUIDADE EM SISTEMAS PREDITIVOS

A discussão sobre discriminação produzida por sistemas automatizados foi consolidada pela análise que demonstrou como práticas de mineração de dados podem produzir impacto desproporcional sobre grupos protegidos sem qualquer intenção discriminatória, seja pela reprodução de padrões históricos presentes nos dados de treinamento, seja pela escolha de variáveis correlacionadas a características protegidas, seja pela definição da própria variável de referência (BAROCAS; SELBST, 2016). A contribuição principal dessa análise consiste em demonstrar que as categorias jurídicas de discriminação direta e indireta capturam de modo imperfeito os mecanismos envolvidos.

A discussão técnica sobre critérios de equidade acrescentou dificuldade adicional ao evidenciar que definições distintas do que constitui um sistema justo, todas defensáveis a partir de concepções distintas de justiça, são matematicamente incompatíveis entre si na maior parte das situações práticas. A análise dessa incompatibilidade a partir da filosofia política argumenta que a escolha entre critérios não é técnica, mas normativa, e que a apresentação de determinada métrica de equidade como solução do problema oculta a decisão valorativa nela contida (BINNS, 2018).

Investigação empírica sobre a acurácia de instrumentos de predição de reincidência identificou que o desempenho de determinado sistema comercial amplamente utilizado não era superior ao de avaliadores sem formação específica na área, e que modelos simples com número reduzido de variáveis alcançavam desempenho comparável, o que sugere cautela quanto à atribuição de sofisticação preditiva a esses instrumentos (DRESSEL; FARID, 2018). O achado é relevante juridicamente porque a legitimação do uso desses sistemas costuma apoiar-se na presunção de superioridade técnica sobre o julgamento humano.

3.6 RESPONSABILIDADE POR DECISÕES AUTOMATIZADAS

A atribuição de responsabilidade por dano decorrente de decisão apoiada em sistema automatizado envolve pluralidade de agentes: quem desenvolveu o modelo, quem forneceu os dados de treinamento, quem integrou o sistema ao processo institucional, quem definiu parâmetros de operação e quem utilizou o resultado. Cada um desses agentes contribuiu para o resultado, e nenhum controla isoladamente a cadeia completa.

A doutrina tem explorado caminhos distintos para essa dificuldade. Um deles consiste em manter a responsabilidade com quem utiliza o sistema, tratando-o como instrumento cuja escolha e cujo emprego são de responsabilidade do agente. Outro consiste em distribuir responsabilidade ao longo da cadeia conforme o controle efetivo de cada agente sobre os fatores que produziram o dano. Outro ainda propõe regimes de responsabilidade objetiva para determinadas aplicações, deslocando a discussão da culpa para a alocação do risco.

A proposição de devido processo tecnológico argumenta que a adoção de sistemas automatizados em decisões administrativas com efeitos sobre direitos exige garantias procedimentais adaptadas, incluindo notificação sobre a utilização do sistema, acesso aos fundamentos da decisão, possibilidade de contestação e manutenção de registros que permitam auditoria posterior (CITRON, 2008). O desenvolvimento posterior dessa linha sustentou que sistemas de pontuação aplicados a pessoas demandam garantias equivalentes às do devido processo, independentemente de a decisão ser administrativa ou privada, dada a magnitude de seus efeitos (CITRON; PASQUALE, 2014).

No âmbito legislativo brasileiro, tramita proposição destinada a estabelecer marco legal para o desenvolvimento e o uso de sistemas de inteligência artificial, com abordagem que contempla classificação

por grau de risco, direitos das pessoas afetadas e atribuições de supervisão (BRASIL, 2023). Trata-se de projeto de lei, e não de norma vigente. Aprovado pelo Senado Federal em dezembro de 2024 e remetido à Câmara dos Deputados em março de 2025, o texto encontrava-se, na data de corte adotada neste capítulo, em comissão especial daquela Casa, aguardando parecer do relator. Seu conteúdo pode ser alterado durante a tramitação, e a situação processual deve ser verificada em fonte oficial no momento da consulta.

No plano estrangeiro, a União Europeia aprovou regulamento estabelecendo regras harmonizadas sobre inteligência artificial, com estrutura baseada em categorias de risco, obrigações diferenciadas conforme essa classificação e aplicação escalonada no tempo (UNIÃO EUROPEIA, 2024). Sua relevância para o debate brasileiro é comparativa, e não normativa.

3.7 PROTEÇÃO DE DADOS, PRIVACIDADE E SEGURANÇA DIGITAL

O ordenamento brasileiro consolidou, ao longo das últimas duas décadas, um conjunto normativo relativo a relações digitais. O marco civil da internet estabeleceu princípios, garantias, direitos e deveres para o uso da internet no país, incluindo disciplina sobre guarda de registros e responsabilidade de provedores (BRASIL, 2014). A lei geral de proteção de dados estabeleceu regime de tratamento de dados pessoais, com fundamentos, princípios, bases legais, direitos dos titulares e deveres dos agentes de tratamento (BRASIL, 2018), tendo a autoridade nacional de proteção de dados sido criada por diploma posterior (BRASIL, 2019). Emenda constitucional incluiu a proteção de dados pessoais entre os direitos e garantias fundamentais e fixou competência privativa da União para legislar sobre a matéria (BRASIL, 2022).

A doutrina brasileira sobre o tema situa a proteção de dados em trajetória que parte da tutela da privacidade como direito de exclusão e evolui para a proteção de dados como direito que envolve controle sobre o fluxo informacional, com dimensão que ultrapassa o interesse individual e alcança a organização das relações sociais e econômicas mediadas por informação (DONEDA, 2019). Essa caracterização é analiticamente relevante porque explica por que o consentimento individual, embora necessário em diversas hipóteses, não é suficiente como mecanismo de proteção em contextos de assimetria informacional.

Quanto à segurança digital, o ordenamento brasileiro tipificou condutas relativas a invasão de dispositivo informático (BRASIL, 2012) e, posteriormente, estabeleceu tratamento penal agravado para determinadas modalidades de furto e estelionato praticadas por meio eletrônico (BRASIL, 2021b). No plano internacional, a convenção sobre cibercrime celebrada no âmbito do Conselho da Europa constitui referência para cooperação internacional na matéria, e sua incorporação ao ordenamento brasileiro ocorreu por procedimento próprio dos tratados, cuja verificação exige consulta a fonte oficial.

A digitalização da administração pública recebeu disciplina legal específica, com princípios e instrumentos voltados à prestação digital de serviços públicos, à interoperabilidade e ao aumento da

eficiência administrativa (BRASIL, 2021a), e a disciplina das assinaturas eletrônicas em interações com entes públicos foi objeto de diploma próprio (BRASIL, 2020).

3.8 CONTRATOS, RELAÇÕES E PROVAS EM AMBIENTES DIGITAIS

A formação de contratos por meios eletrônicos consolidou-se sem exigir alteração estrutural das categorias contratuais, uma vez que os requisitos de existência e validade permanecem os mesmos e o meio eletrônico constitui forma de manifestação de vontade. As questões relevantes deslocaram-se para a comprovação da autoria, a integridade do documento e o momento da manifestação, problemas cuja resposta é predominantemente técnica e cuja disciplina jurídica se apoia em regimes de assinatura eletrônica com níveis distintos de exigência.

Três questões apresentam maior complexidade. A primeira é a dos contratos de adesão em ambientes digitais, nos quais a assimetria informacional entre as partes é acentuada pela extensão e pela complexidade dos termos apresentados, e a manifestação de aceitação ocorre por ato de baixo custo cognitivo. A segunda é a dos contratos executados automaticamente por código, cuja execução prescinde de intervenção humana e cuja adequação ao regime contratual convencional depende de como se tratam hipóteses de erro, alteração superveniente de circunstâncias e vícios de vontade. A terceira é a da prova em ambiente digital, na qual a facilidade de produção de conteúdo sintético indistinguível de registro autêntico introduz problema de autenticação cuja resposta ainda está sendo elaborada.

Este último ponto merece registro específico. A avaliação da autenticidade de documentos, imagens, áudios e vídeos apresentados como prova apoiou-se historicamente na dificuldade técnica de sua falsificação convincente. A redução dessa dificuldade altera a base sobre a qual essa avaliação se sustentava, e a resposta provável envolve deslocamento da atenção do conteúdo para a cadeia de custódia e para os metadados que documentam a origem do registro. Trata-se de tendência identificável, cujo desenvolvimento normativo e jurisprudencial permanece em curso.

4 POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO, PREPARAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO

4.1 REGULAÇÃO PROPORCIONAL AO RISCO

A abordagem que gradua exigências regulatórias conforme a consequência potencial da aplicação apresenta vantagem prática relevante: evita simultaneamente a submissão de aplicações inócuas a exigências desproporcionais e a ausência de controle sobre aplicações consequentes. Sua adoção exige, contudo, critérios de classificação que sejam operacionais e verificáveis, e a definição desses critérios constitui a principal dificuldade da abordagem.

Três parâmetros de classificação apresentam fundamento defensável. O primeiro é a natureza do direito afetado, de modo que aplicações que incidem sobre liberdade, acesso a serviços essenciais, emprego,

crédito e educação demandem exigências superiores às de aplicações com efeito predominantemente comercial. O segundo é o grau de autonomia do sistema na decisão, distinguindo situações em que o resultado é sugestão submetida a apreciação humana daquelas em que produz efeito sem intervenção. O terceiro é a reversibilidade do efeito, dado que decisões cujas consequências podem ser desfeitas admitem controle posterior, enquanto efeitos irreversíveis exigem controle prévio.

4.2 DESENHO INSTITUCIONAL DA CONTESTABILIDADE

Se a contestabilidade é o requisito juridicamente decisivo, seu desenho merece elaboração específica. O Quadro 1 organiza elementos que compõem um regime de contestabilidade efetiva. Trata-se de esquema analítico elaborado com finalidade expositiva a partir das referências citadas, e não de proposta normativa ou de instrumento validado.

Quadro 1 – Elementos de um regime de contestabilidade de decisões automatizadas

Elemento	Conteúdo	Função jurídica
Notificação	Informar que a decisão envolveu tratamento automatizado	Condição de exercício dos demais direitos
Acesso aos dados	Disponibilizar as informações utilizadas sobre a pessoa	Permitir identificação de incorreção
Informação sobre critérios	Indicar os fatores considerados e sua relevância geral	Orientar a formulação da contestação
Canal de contestação	Prever meio acessível e prazo razoável para manifestação	Efetivar o contraditório
Revisão humana	Assegurar apreciação por pessoa com competência decisória	Preservar responsabilidade atribuível
Registro auditável	Manter histórico de decisões, versões do modelo e revisões	Viabilizar controle posterior e prova
Correção de dados	Permitir retificação com efeito sobre decisões futuras	Evitar perpetuação do erro

Fonte: elaboração do autor com base nas referências citadas.

A leitura do quadro sugere que a proteção efetiva não depende de um elemento isolado, mas da presença articulada de vários. Notificação sem canal de contestação informa sem remediar. Revisão humana sem acesso aos dados reproduz a decisão original. Registro auditável sem competência institucional para auditar produz documentação sem controle.

4.3 FORMAÇÃO DOS PROFISSIONAIS DO DIREITO

A formação jurídica tem incorporado conteúdos relativos a direito digital e proteção de dados em graus variados. A competência mais consequente, contudo, não se reduz ao conhecimento da legislação

específica. Consiste na capacidade de formular perguntas tecnicamente adequadas sobre sistemas automatizados: em que dados o modelo foi treinado, qual a variável de referência adotada, como o desempenho varia entre grupos, que decisões humanas foram incorporadas ao desenho, que registros são mantidos e por quanto tempo.

Essa competência não exige que profissionais do Direito desenvolvam sistemas, do mesmo modo que a atuação em matéria contábil não exige formação em contabilidade. Exige compreensão suficiente para identificar o que precisa ser perguntado, avaliar a suficiência da resposta e requerer prova pericial quando a questão ultrapassar essa compreensão. A discussão sobre inteligência artificial e transformações no sistema jurídico registra que a qualificação dos operadores constitui condição para que a incorporação dessas tecnologias amplie eficiência sem enfraquecer garantias (CASTRO et al., 2026).

5 DESAFIOS, RISCOS, LIMITES E CONDIÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO

Um primeiro desafio está na assimetria de capacidade técnica entre quem regula e quem é regulado. Órgãos de supervisão dependem, em grande medida, de informação fornecida pelos entes supervisionados para compreender os sistemas sobre os quais devem exercer controle. A constituição de capacidade técnica própria nos órgãos reguladores e no Poder Judiciário constitui condição de efetividade que exige investimento continuado.

O segundo é a tensão entre transparência e proteção do segredo comercial. A exigência de informação sobre critérios de decisão colide com o interesse de proteção de ativos informacionais, e a resolução dessa tensão em situações concretas depende de ponderação cujo parâmetro a norma não predefine. Soluções intermediárias, como auditoria por terceiro de confiança com dever de sigilo, têm sido propostas e sua viabilidade institucional permanece a ser demonstrada.

O terceiro é o risco de que exigências regulatórias uniformes produzam concentração de mercado. Custos de conformidade elevados são absorvidos com maior facilidade por agentes de grande porte, e a exigência indiscriminada pode inviabilizar a atuação de agentes menores, com efeito contrário ao pretendido em termos de diversidade e de dependência tecnológica.

O quarto é a extraterritorialidade. Serviços digitais operam através de fronteiras, e a efetividade de normas nacionais depende de mecanismos de cooperação internacional cuja construção é lenta e cuja eficácia é desigual. A aplicação de sanções a agentes sem presença física no território apresenta dificuldade prática relevante.

O quinto é o risco de que a exigência de supervisão humana se torne formalidade. Quando o volume de decisões submetidas a revisão excede a capacidade efetiva de análise, a revisão tende a converter-se em homologação, mantendo a aparência de controle sem seu conteúdo. A efetividade da supervisão depende

de proporcionalidade entre o volume de decisões e os recursos alocados à revisão, dimensão que raramente é objeto de exigência normativa explícita.

O sexto diz respeito à velocidade de obsolescência das próprias soluções regulatórias. Normas elaboradas com referência a configurações técnicas específicas perdem aplicabilidade quando essas configurações mudam. A formulação em termos de resultados, riscos e garantias procedimentais oferece maior durabilidade, ao custo de menor precisão na orientação de condutas, tensão que não admite solução ótima.

Uma limitação analítica merece registro. Este capítulo discute categorias e princípios sem examinar sua aplicação em casos concretos, dado que não foi realizada pesquisa jurisprudencial. A verificação de como tribunais têm efetivamente decidido as questões aqui tratadas constitui investigação necessária e distinta, cuja ausência limita o alcance das proposições formuladas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo partiu da pergunta sobre como o Direito pode acompanhar a velocidade das transformações tecnológicas sem comprometer garantias fundamentais, segurança jurídica e responsabilidade humana. A análise desenvolvida sustenta que a resposta reside menos na tentativa de antecipar normativamente cada tecnologia do que no fortalecimento de garantias procedimentais que permaneçam aplicáveis independentemente da configuração técnica adotada.

O argumento apoia-se em três conclusões. A primeira é que o descompasso entre inovação e supervisão jurídica é característica estrutural e não deficiência corrigível, e que a estratégia regulatória adequada consiste em formular normas dirigidas a resultados, riscos e garantias, e não a tecnologias específicas, complementadas por mecanismos de revisão periódica e por delegação de detalhamento técnico a órgãos com capacidade de atualização.

A segunda é que a exigência juridicamente decisiva em relação a decisões automatizadas não é a explicação do funcionamento interno dos sistemas, mas a contestabilidade das decisões. Um regime que assegure notificação, acesso aos dados utilizados, informação sobre critérios, canal de contestação, revisão por decisor humano com competência efetiva, registro auditável e correção de dados oferece proteção substantiva ainda que a lógica interna do modelo permaneça técnica ou comercialmente inacessível. A explicação sem remédio produz transparência sem tutela.

A terceira é que a responsabilidade humana não pode ser diluída pela interposição de sistemas automatizados. Quando uma decisão produz efeito sobre direitos, alguém responde por ela, e arranjos institucionais que tornam essa atribuição indeterminada prejudicam simultaneamente as pessoas afetadas, que não sabem contra quem se voltar, e os profissionais envolvidos, que operam sob insegurança quanto à extensão de sua responsabilidade.

Importa declarar os limites da análise. Tratando-se de ensaio teórico de base narrativa, ele não estabelece a robustez agregada da literatura disponível, não realiza pesquisa jurisprudencial e não formula interpretação autorizada de dispositivos. Nenhum dispositivo normativo foi reproduzido, e as referências indicam objeto e função dos diplomas mencionados. A legislação sobre tecnologia tem sido objeto de alteração frequente, e a proposição legislativa mencionada permanecia, no momento da redação, em tramitação, sem que este capítulo afirme seu estágio atual, cuja verificação exige consulta a fonte oficial. O quadro apresentado constitui esquema expositivo, e não proposta normativa. O texto não constitui orientação jurídica sobre situações concretas.

Três direções de pesquisa decorrem do argumento. A primeira é a pesquisa empírica sobre como tribunais brasileiros têm tratado pedidos de revisão de decisões automatizadas e de acesso a critérios de tratamento, questão sobre a qual a produção doutrinária excede largamente a análise de decisões efetivas. A segunda é o exame comparado de regimes de auditoria de sistemas algorítmicos, com atenção aos arranjos que conciliam verificação independente e proteção de segredo comercial. A terceira é a avaliação do efeito da digitalização processual sobre o acesso à justiça de segmentos populacionais com menor acesso a infraestrutura digital, distinguindo ampliação de acesso de deslocamento de barreiras.

A tese que percorre o capítulo é simples de enunciar: garantias jurídicas não se realizam por declaração, mas por procedimento. Um direito que não dispõe de meio acessível de exercício permanece enunciado. A tarefa que a digitalização impõe ao Direito é menos a de criar categorias inteiramente novas do que a de traduzir garantias consolidadas para ambientes em que sua efetivação exige desenho técnico deliberado.

REFERÊNCIAS

BAROCAS, Solon; SELBST, Andrew D. Big data's disparate impact. **California Law Review**, v. 104, n. 3, p. 671-732, 2016.

BINNS, Reuben. Fairness in machine learning: lessons from political philosophy. **Proceedings of Machine Learning Research**, v. 81, p. 149-159, 2018.

BRASIL. **Lei nº 11.419, de 19 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a informatização do processo judicial. Brasília, DF: Presidência da República, 2006.

BRASIL. **Lei nº 12.737, de 30 de novembro de 2012**. Dispõe sobre a tipificação criminal de delitos informáticos. Brasília, DF: Presidência da República, 2012.

BRASIL. **Lei nº 12.965, de 23 de abril de 2014**. Estabelece princípios, garantias, direitos e deveres para o uso da internet no Brasil (Marco Civil da Internet). Brasília, DF: Presidência da República, 2014.

BRASIL. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018**. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Brasília, DF: Presidência da República, 2018.

BRASIL. **Lei nº 13.853, de 8 de julho de 2019**. Altera a Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018, para dispor sobre a proteção de dados pessoais e para criar a Autoridade Nacional de Proteção de Dados. Brasília, DF: Presidência da República, 2019.

BRASIL. **Lei nº 14.063, de 23 de setembro de 2020**. Dispõe sobre o uso de assinaturas eletrônicas em interações com entes públicos. Brasília, DF: Presidência da República, 2020.

BRASIL. **Lei nº 14.129, de 29 de março de 2021**. Dispõe sobre princípios, regras e instrumentos para o Governo Digital. Brasília, DF: Presidência da República, 2021a.

BRASIL. **Lei nº 14.155, de 27 de maio de 2021**. Altera o Decreto-Lei nº 2.848, de 7 de dezembro de 1940, para tornar mais graves os crimes de violação de dispositivo informático, furto e estelionato cometidos de forma eletrônica ou pela internet. Brasília, DF: Presidência da República, 2021b.

BRASIL. **Emenda Constitucional nº 115, de 10 de fevereiro de 2022**. Altera a Constituição Federal para incluir a proteção de dados pessoais entre os direitos e garantias fundamentais. Brasília, DF: Congresso Nacional, 2022.

BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei nº 2.338, de 2023**. Dispõe sobre o uso da inteligência artificial. Brasília, DF: Senado Federal, 2023.

BROWNSWORD, Roger. **Law, technology and society: re-imagining the regulatory environment**. London: Routledge, 2019.

CAPPELLETTI, Mauro; GARTH, Bryant. **Acesso à justiça**. Porto Alegre: Sergio Antonio Fabris, 1988.

CASTRO, Marilú Pereira et al. Inteligência artificial e transformações no sistema jurídico: eficiência, governança algorítmica e desafios para o Estado de Direito. **Revista Tópicos**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 32, p. 1-28, 2026. ISSN 2965-6672. DOI: <https://doi.org/10.70773/revistatopicos/776446783>. Acesso em: 17 ago. 2026.

CITRON, Danielle Keats. Technological due process. **Washington University Law Review**, v. 85, n. 6, p. 1249-1313, 2008.

CITRON, Danielle Keats; PASQUALE, Frank. The scored society: due process for automated predictions. **Washington Law Review**, v. 89, n. 1, p. 1-33, 2014.

CONSELHO NACIONAL DE JUSTIÇA (CNJ). **Resolução nº 345, de 9 de outubro de 2020**. Dispõe sobre o Juízo 100% Digital. Brasília, DF: CNJ, 2020.

CONSELHO NACIONAL DE JUSTIÇA (CNJ). **Resolução nº 615, de 11 de março de 2025**. Estabelece diretrizes para o desenvolvimento, utilização e governança de soluções desenvolvidas com recursos de inteligência artificial no Poder Judiciário. Brasília, DF: CNJ, 2025.

CONSELHO NACIONAL DE JUSTIÇA (CNJ). **Resolução nº 674, de 25 de março de 2026**. Altera o art. 15 da Resolução CNJ nº 615/2025, que estabelece diretrizes para o desenvolvimento, utilização e governança de soluções desenvolvidas com recursos de inteligência artificial no Poder Judiciário. Brasília, DF: CNJ, 2026.

DONEDA, Danilo. **Da privacidade à proteção de dados pessoais**: fundamentos da Lei Geral de Proteção de Dados. 2. ed. São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2019.

DRESSEL, Julia; FARID, Hany. The accuracy, fairness, and limits of predicting recidivism. **Science Advances**, v. 4, n. 1, 2018.

HILDEBRANDT, Mireille. **Smart technologies and the end(s) of law**: novel entanglements of law and technology. Cheltenham: Edward Elgar, 2015.

LESSIG, Lawrence. **Code**: version 2.0. New York: Basic Books, 2006.

MARCHANT, Gary E.; ALLENBY, Braden R.; HERKERT, Joseph R. (org.). **The growing gap between emerging technologies and legal-ethical oversight**: the pacing problem. Dordrecht: Springer, 2011.

PASQUALE, Frank. **The black box society**: the secret algorithms that control money and information. Cambridge: Harvard University Press, 2015.

SELBST, Andrew D.; POWLES, Julia. Meaningful information and the right to explanation. **International Data Privacy Law**, v. 7, n. 4, p. 233-242, 2017.

SUSSKIND, Richard. **Online courts and the future of justice**. Oxford: Oxford University Press, 2019.

SUSSKIND, Richard; SUSSKIND, Daniel. **The future of the professions**: how technology will transform the work of human experts. Oxford: Oxford University Press, 2015.

UNIÃO EUROPEIA. **Regulamento (UE) 2024/1689 do Parlamento Europeu e do Conselho**, que estabelece regras harmonizadas em matéria de inteligência artificial. Jornal Oficial da União Europeia, 2024.

WACHTER, Sandra; MITTELSTADT, Brent; FLORIDI, Luciano. Why a right to explanation of automated decision-making does not exist in the General Data Protection Regulation. **International Data Privacy Law**, v. 7, n. 2, p. 76-99, 2017.

CAPÍTULO 8

GESTÃO ECONÔMICA E FINANCEIRA NA ERA DOS DADOS E DA AUTOMAÇÃO

ECONOMIC AND FINANCIAL MANAGEMENT IN THE AGE OF DATA AND AUTOMATION

 <https://doi.org/10.63330/livroautor912026-008>

Rodrigo José Leite Cavalcante

Mestre em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

E-mail: rodrigo.rjlc@ufpe.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2461068935264486>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1438-4522>

Joelson Lopes da Paixão

Mestre e Bacharel em Engenharia Elétrica pela UFSM. Especialista em Educação e em áreas relacionadas à Engenharia Elétrica. Pesquisador na UFSM.

E-mail: joelson.paixao@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6907289379766915>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8874-5151>

Geovany Rodrigues de Miranda Junior

Mestrando em Economia pelo Instituto Brasileiro de Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa (IDP). Especialista em IFRS e Procedimentos Contábeis pela Faculdade de Gestão BSSP. Especialista em Gestão de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas (FGV).

E-mail: geovanyjunior@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7602809345263085>

Adiléia Ribeiro Santos

Mestre em Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Especialista em Educação a Distância (UNIFATEB). Especialista em Docência no Ensino Superior: Tecnologias Educacionais e Inovação (UniCesumar).

E-mail: adileia@gmail.com

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/1542687464735266>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3133-5726>

Jaimy Paulo da Silva Rego

Bacharel em Administração pela Faculdade de Educação de Bacabal (FEBAC), Especialista em Docência do Ensino Profissionalizante (SENAC), Especialista em Docência no Ensino Superior (FEBAC). Atua como professor da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA.

E-mail: jaimypaulo@gmail.com

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/6392752417788087>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9640-7025>

Resumo

Este capítulo analisa como dados, automação e sistemas de aprendizado de máquina modificam planejamento, controle, gestão de riscos e tomada de decisões em organizações públicas e privadas. O problema investigado decorre da distância recorrente entre o investimento realizado em capacidade analítica e a alteração verificável na qualidade das decisões, distância que se explica menos por limitações

das ferramentas do que por deficiências na qualidade dos dados, por ausência de articulação entre análise e processo decisório e por arranjos de governança que não definem responsabilidades. A pergunta norteadora indaga como utilizar dados e automação para melhorar a gestão econômica e financeira sem perder transparência, controle, segurança e responsabilidade. A análise é qualitativa e assume a forma de ensaio teórico, apoiado em revisão narrativa crítica de literatura da administração, da economia, da contabilidade, da gestão de riscos e dos estudos sobre sistemas de informação. O argumento central sustenta que tecnologias ampliam capacidade analítica e velocidade operacional, mas que decisões econômicas responsáveis dependem de qualidade dos dados, governança, julgamento profissional, controles institucionais e compreensão dos impactos sociais. A discussão percorre a natureza da decisão sob incerteza, a divisão entre predição e julgamento, a qualidade dos dados como condição anterior à analítica, a automação de processos financeiros e contábeis, os limites dos modelos de risco, os novos arranjos de pagamento e intermediação, a função dos controles internos e os efeitos das métricas sobre o comportamento organizacional. Conclui-se que o retorno de investimentos em analítica depende de decisões organizacionais que a tecnologia não determina.

Palavras-chave: Decisão orientada por dados; Gestão de riscos; Governança corporativa; Automação de processos; Qualidade de dados.

Abstract

This chapter analyses how data, automation and machine learning systems are reshaping planning, control, risk management and decision-making in public and private organisations. The problem addressed arises from the recurring gap between investment in analytical capability and verifiable improvement in decision quality, a gap explained less by tool limitations than by deficiencies in data quality, absence of articulation between analysis and decision processes, and governance arrangements that fail to assign responsibility. The guiding question asks how data and automation can improve economic and financial management without sacrificing transparency, control, security and accountability. The analysis is qualitative and takes the form of a theoretical essay, grounded in a critical narrative review of scientific, technical, normative and documentary literature drawn from management, economics, accounting, risk management and information systems research. The central argument holds that technologies expand analytical capacity and operational speed, but that responsible economic decisions depend on data quality, governance, professional judgement, institutional controls and understanding of social impacts. The discussion covers decision-making under uncertainty, the division between prediction and judgement, data quality as a precondition for analytics, the automation of financial and accounting processes, the limits of risk models, new payment and intermediation arrangements, the function of internal controls, and the effects of metrics on

organisational behaviour. It concludes that returns on analytical investment depend on organisational decisions that technology does not determine.

Keywords: Data-driven decision-making; Risk management; Corporate governance; Process automation; Data quality.

1 INTRODUÇÃO

Poucas expressões alcançaram, no vocabulário da gestão contemporânea, difusão comparável à de decisão orientada por dados. A formulação sugere contraste com uma alternativa presumidamente inferior, baseada em intuição, hábito ou hierarquia, e esse contraste tem fundamento: decisões apoiadas em observação sistemática tendem a superar decisões apoiadas em impressão, e a literatura sobre comparação entre predição clínica e estatística documentou essa vantagem em diversos domínios desde meados do século passado.

A expressão contém, contudo, uma ambiguidade consequente. Dados não decidem. Eles informam decisões cujos critérios permanecem definidos por pessoas, e a qualidade da decisão resultante depende tanto da qualidade dos dados quanto da adequação do critério aplicado. Uma organização pode dispor de informação excelente e decidir mal por perseguir objetivo inadequado, do mesmo modo que pode dispor de informação precária e decidir bem por dispor de julgamento experiente sobre a situação específica.

Essa ambiguidade explica parte do fenômeno mais documentado do campo: a distância entre o investimento realizado em infraestrutura analítica e a alteração verificável na qualidade das decisões. Organizações constroem repositórios de dados, contratam equipes de análise e adquirem plataformas sem que os processos decisórios sejam correspondentemente alterados. O resultado é a produção de relatórios que ninguém utiliza, de painéis consultados por obrigação e de modelos cujas saídas não chegam a quem decide, ou chegam tarde demais.

Há um segundo problema, de natureza distinta. A ampliação da capacidade de processar informação não elimina a incerteza fundamental que caracteriza decisões econômicas. A distinção clássica entre risco, situação em que os desfechos possíveis e suas probabilidades são conhecidos, e incerteza propriamente dita, em que essas probabilidades não são estimáveis, permanece válida e frequentemente ignorada. Modelos quantitativos produzem números em ambas as situações, e a apresentação de estimativas com precisão decimal em contextos de incerteza genuína cria aparência de controle que a situação não comporta.

O problema aqui examinado situa-se nessa articulação entre capacidade analítica ampliada, qualidade da informação disponível e arranjos de governança que determinam como a informação se converte em decisão. A hipótese que orienta a análise é que o retorno de investimentos em analítica depende

principalmente de decisões organizacionais sobre processos, responsabilidades e critérios, e apenas secundariamente das características das ferramentas adotadas.

A pergunta norteadora é, portanto: **como utilizar dados e automação para melhorar a gestão econômica e financeira sem perder transparência, controle, segurança e responsabilidade?** O objetivo é analisar como dados, automação e inteligência artificial modificam planejamento, controle, gestão de riscos e tomada de decisões em organizações públicas e privadas.

O que se argumenta é que tecnologias ampliam capacidade analítica e velocidade operacional, mas que decisões econômicas responsáveis dependem de qualidade dos dados, governança, julgamento profissional, controles institucionais e compreensão dos impactos sociais. A última expressão merece registro: decisões de gestão produzem efeitos sobre pessoas que não participaram delas, e a avaliação de sua adequação não se esgota no resultado financeiro obtido.

A relevância dessa discussão ultrapassa as áreas de administração e finanças. Gestores públicos aplicam recursos sob regime de controle específico. Profissionais de tecnologia desenvolvem sistemas cujas premissas sobre o processo decisório determinam sua utilidade. Contadores e auditores verificam informação cuja produção é crescentemente automatizada. Profissionais do direito analisam responsabilidade por decisões apoiadas em modelos. Trabalhadores e comunidades convivem com os efeitos dessas decisões.

O capítulo prossegue nesta ordem. Descrito o método, a fundamentação teórica examina a decisão sob incerteza, a distinção entre predição e julgamento, a qualidade dos dados, a automação de processos, os modelos de risco, os novos arranjos financeiros, a função dos controles internos e os efeitos das métricas. A quarta seção discute possibilidades de aplicação. A quinta reúne os entraves e as condições práticas de aplicação. Ao final, a pergunta inicial volta ao centro e os limites do argumento são declarados.

2 PERCURSO METODOLÓGICO

A análise que segue é qualitativa e assume a forma de ensaio teórico, apoiado em revisão narrativa crítica de literatura científica, técnica, normativa e documental. Não foram observados os protocolos de revisão sistemática, de escopo ou integrativa. Tampouco se trata de investigação empírica sobre organizações, sistemas ou mercados específicos.

A base bibliográfica reúne quatro conjuntos de fontes. O primeiro reúne a literatura sobre teoria da decisão e julgamento em condições de incerteza, que fornece o referencial conceitual sobre limites da racionalidade e sobre a relação entre predição e escolha. O segundo compreende a produção sobre economia da inovação e sobre efeitos de tecnologias digitais no desempenho organizacional. O terceiro abrange referenciais técnicos de gestão de riscos, controle interno e governança, incluindo estruturas de referência amplamente adotadas e orientações de organismos internacionais de supervisão financeira. O quarto agrega

legislação brasileira relativa a governança de organizações públicas e privadas, contratação pública, responsabilidade fiscal, arranjos de pagamento e ativos virtuais.

A seleção seguiu a pertinência ao problema formulado, a autoridade reconhecida das fontes em seus campos, a atualidade quando o tema exigia informação contemporânea e a aderência ao objetivo do capítulo. Foram incorporadas contribuições críticas sobre os efeitos não pretendidos de sistemas de mensuração e de controle, dado que a literatura documenta esses efeitos com consistência e que sua omissão produziria análise parcial.

Cabe declarar quatro restrições. A primeira é a ausência de valores quantitativos sobre desempenho de organizações, retorno de investimentos em tecnologia, volumes de mercado ou indicadores setoriais, cuja utilização responsável exigiria conferência em fontes atualizadas com explicitação do período de referência. A segunda é que as estruturas de referência técnica mencionadas foram referenciadas quanto ao seu objeto e à sua função, sem reprodução de componentes, princípios ou requisitos nelas estabelecidos. A terceira é que os diplomas normativos foram referenciados quanto ao seu objeto, sem reprodução de dispositivos, e que a regulação financeira tem sido objeto de alteração frequente, o que exige consulta às versões vigentes. A quarta é que as observações sobre práticas organizacionais derivam da literatura consultada e não de verificação direta. As proposições devem ser tomadas como leitura interpretativa, não como achado.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E DISCUSSÃO CRÍTICA

3.1 DECISÃO ECONÔMICA SOB INCERTEZA

A distinção entre situações em que os desfechos possíveis e suas probabilidades são conhecidos e situações em que essas probabilidades não são estimáveis constitui um dos fundamentos da teoria econômica da decisão. A formulação clássica reservou o termo risco para a primeira categoria e incerteza para a segunda, associando a esta última a possibilidade de lucro econômico, precisamente porque situações não redutíveis a cálculo probabilístico não podem ser eliminadas por seguro ou por arbitragem (KNIGHT, 1921). A distinção permanece analiticamente central e é frequentemente ignorada na prática de gestão, na qual instrumentos apropriados a situações de risco são aplicados a situações de incerteza genuína.

A análise sobre o comportamento decisório em organizações acrescentou dimensão complementar ao caracterizar a racionalidade humana como limitada pela capacidade cognitiva, pela informação disponível e pelo tempo, de modo que decisores não otimizam entre todas as alternativas possíveis, mas buscam soluções satisfatórias segundo critérios de aceitabilidade (SIMON, 1997). Essa caracterização é frequentemente apresentada como limitação a ser superada por sistemas computacionais. A leitura mais adequada é distinta: a racionalidade limitada decorre também da estrutura do problema, e não apenas da

capacidade do decisor, uma vez que a definição do conjunto de alternativas relevantes e dos critérios de avaliação precede qualquer cálculo e não é ela própria objeto de cálculo.

A literatura sobre julgamento identificou padrões sistemáticos de desvio em relação a modelos normativos de decisão, decorrentes de processos cognitivos que operam de modo rápido e automático em contraste com processos deliberados e custosos (KAHNEMAN, 2011). Contribuição posterior distinguiu essas distorções sistemáticas da variabilidade não sistemática entre julgamentos de profissionais igualmente qualificados diante de casos equivalentes, argumentando que essa variabilidade constitui fonte de erro frequentemente maior e substancialmente menos reconhecida do que o viés (KAHNEMAN; SIBONY; SUNSTEIN, 2021). A implicação para a gestão é relevante: a padronização de critérios de decisão, mesmo sem sofisticação analítica, pode produzir ganho significativo pela simples redução da variabilidade.

A comparação entre julgamento profissional e predição estatística documentou, ao longo de décadas e em diversos domínios, vantagem consistente de modelos simples sobre julgamento não estruturado quando o objetivo é prever um resultado a partir de variáveis conhecidas (MEEHL, 1954). Esse achado sustenta a incorporação de modelos a processos decisórios e simultaneamente delimita seu alcance, dado que a superioridade se verifica em tarefas de predição bem definidas e não em situações que envolvem definição de objetivos, ponderação entre valores conflitantes ou avaliação de circunstâncias singulares.

3.2 PREDIÇÃO E JULGAMENTO: UMA DIVISÃO DE TRABALHO

A análise econômica das tecnologias de aprendizado de máquina propôs enquadramento particularmente útil ao caracterizá-las como redução do custo de predição, entendida como a produção de informação sobre o que não se conhece a partir do que se conhece. Sob esse enquadramento, a queda do custo de predição aumenta o valor dos complementos da predição, entre os quais o julgamento, definido como a determinação do valor relativo dos diferentes desfechos possíveis (AGRAWAL; GANS; GOLDFARB, 2018).

A implicação prática é substantiva. Um sistema pode estimar a probabilidade de inadimplência de um proponente de crédito com acurácia elevada. A decisão de conceder ou negar o crédito exige, adicionalmente, determinar quanto vale evitar uma perda em relação a quanto vale realizar um ganho, quanto pesa o custo de negar crédito a quem teria pago e que consequências distributivas a política de concessão produz. Essas determinações não são preditivas, são valorativas, e a organização que não as explicita as delega implicitamente ao desenho do sistema.

Essa divisão de trabalho oferece critério para avaliar propostas de automação. Aplicações que substituem predição humana por predição automatizada em tarefas bem definidas tendem a produzir ganho verificável. Aplicações que incorporam implicitamente juízos de valor em parâmetros técnicos transferem decisões substantivas para camadas em que permanecem menos visíveis e menos sujeitas a deliberação.

A literatura sobre o paradoxo da produtividade acrescenta cautela quanto ao ritmo de realização dos ganhos. A análise dessa questão argumenta que tecnologias de propósito geral produzem efeito agregado sobre produtividade com defasagem considerável, dado que sua exploração exige investimentos complementares em ativos intangíveis, incluindo reorganização de processos, desenvolvimento de competências e redesenho de modelos de negócio, cuja acumulação é lenta e cujo custo inicial pode reduzir a produtividade mensurada antes de ampliá-la (BRYNJOLFSSON; ROCK; SYVERSON, 2019). Estudos sobre a adoção de práticas de decisão orientada por dados documentaram sua difusão acelerada e sua associação com características organizacionais específicas, entre as quais investimento prévio em tecnologia da informação e maior escolaridade da força de trabalho (BRYNJOLFSSON; McELHERAN, 2016).

3.3 QUALIDADE DOS DADOS COMO CONDIÇÃO ANTERIOR À ANALÍTICA

A discussão sobre analítica avançada tende a pressupor disponibilidade de dados adequados, pressuposto que a experiência organizacional raramente confirma. A caracterização da qualidade de dados a partir da perspectiva de quem os utiliza identificou que ela compreende dimensões que ultrapassam a acurácia, incluindo completude, atualidade, consistência entre fontes, relevância para a tarefa, interpretabilidade e acessibilidade, e que deficiências em qualquer dessas dimensões comprometem o uso ainda que os valores registrados estejam corretos (WANG; STRONG, 1996).

A análise sobre gestão de dados como ativo organizacional argumenta que os custos de má qualidade de dados são substanciais e permanecem majoritariamente invisíveis nos sistemas de custeio, dado que se manifestam em retrabalho, decisões incorretas, perda de credibilidade da informação e tempo dedicado a reconciliação entre fontes divergentes (REDMAN, 2008). A implicação é que investimentos em qualidade de dados apresentam retorno cuja demonstração é dificultada precisamente pela invisibilidade do custo que evitam.

No domínio financeiro, a preocupação com agregação de dados de risco recebeu tratamento específico em orientações de supervisão bancária, que estabelecem princípios relativos à capacidade das instituições de agregar informação de risco de modo preciso, completo e tempestivo, incluindo em situações de estresse, e de produzir relatórios que apoiem decisões (COMITÊ DE BASILEIA DE SUPERVISÃO BANCÁRIA, 2013). A motivação dessas orientações é instrutiva: episódios de crise evidenciaram que instituições foram incapazes de determinar sua exposição agregada em tempo útil, deficiência que não era analítica, mas de arquitetura de informação.

Uma implicação prática decorre dessa discussão. Projetos de analítica avançada implantados sobre bases com deficiências estruturais tendem a produzir resultados cuja fragilidade só se manifesta quando o modelo é aplicado a situações distintas daquelas em que foi ajustado. A sequência recomendável inverte a

prática corrente: estabelecer definições consistentes, corrigir processos de captura na origem e assegurar rastreabilidade antes de investir em sofisticação analítica.

3.4 AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS FINANCEIROS E CONTÁBEIS

A automação de processos administrativos incide sobre atividades caracterizadas por alto volume, regras estáveis e baixa exigência de julgamento: conciliação de lançamentos, classificação de despesas conforme critérios definidos, verificação de conformidade documental, emissão de cobranças e composição de relatórios recorrentes. Nessas atividades, sistemas produzem ganho de velocidade, redução de erro de transcrição e liberação de tempo profissional.

Três cautelas merecem registro. A primeira é que a automação de um processo mal desenhado produz execução mais rápida de um procedimento inadequado. A oportunidade que a automação oferece consiste precisamente em revisar o processo antes de automatizá-lo, e essa revisão é frequentemente omitida por pressa de implantação. A segunda é que a redução da intervenção humana em etapas intermediárias reduz também as oportunidades de detecção de anomalias que essas etapas incidentalmente proporcionavam. A terceira é que processos automatizados podem propagar erros com velocidade e escala que processos manuais não alcançam, o que desloca a exigência de controle da execução para a verificação de consistência dos resultados agregados.

A aplicação de aprendizado de máquina a detecção de anomalias e de fraude apresenta perfil distinto. Sistemas treinados sobre histórico de operações identificam padrões incomuns que merecem investigação, o que constitui apoio efetivo a equipes cuja capacidade de revisão manual é limitada. A avaliação desses sistemas exige atenção ao equilíbrio entre sensibilidade e especificidade: configurações que maximizam a detecção produzem volume de alertas falsos cuja triagem consome a capacidade que se pretendia liberar, e configurações conservadoras deixam de identificar situações relevantes. A definição desse equilíbrio é decisão de gestão, não de configuração técnica.

Orientações de supervisão sobre risco operacional situam falhas de sistemas, de processos e de pessoas como categoria de risco cuja gestão exige estrutura própria de identificação, avaliação, monitoramento e controle (COMITÊ DE BASELEIA DE SUPERVISÃO BANCÁRIA, 2021). A automação altera o perfil desse risco sem eliminá-lo: reduz erros de execução repetitiva e introduz dependência de sistemas cuja indisponibilidade interrompe operações.

3.5 GESTÃO DE RISCOS: MODELOS, LIMITES E RISCO ENDÓGENO

Estruturas de referência amplamente adotadas organizam a gestão de riscos em componentes que articulam governança, estratégia, definição de objetivos, identificação e avaliação de riscos, resposta, informação e monitoramento (COMMITTEE OF SPONSORING ORGANIZATIONS OF THE

TREADWAY COMMISSION, 2017). Norma internacional sobre o tema estabelece princípios, estrutura e processo de gestão de riscos aplicáveis a organizações de qualquer natureza (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE NORMALIZAÇÃO, 2018). A contribuição dessas referências consiste principalmente em exigir explicitação: identificação sistemática de riscos, atribuição de responsáveis, definição de apetite ao risco e periodicidade de revisão.

Duas limitações merecem exame analítico. A primeira é a dependência de dados históricos. Modelos quantitativos de risco são calibrados sobre séries observadas, e sua validade pressupõe que a distribuição subjacente permaneça estável. Essa premissa falha justamente nos períodos em que a gestão de risco mais importa, uma vez que crises se caracterizam por comportamento distinto do observado em condições normais. A implicação não é o abandono dos modelos, mas o reconhecimento de que estimativas produzidas em condições normais subestimam sistematicamente a magnitude de eventos extremos, e que sua utilização deve ser complementada por análise de cenários construídos deliberadamente fora da distribuição histórica.

A segunda é a endogeneidade do risco. Quando numerosas instituições adotam modelos semelhantes e respondem de modo semelhante aos mesmos sinais, suas respostas individuais, cada uma prudente do ponto de vista da instituição, produzem movimento agregado que amplifica a perturbação. A gestão de risco de cada agente é adequada; o resultado sistêmico não é. Essa característica indica que a avaliação de risco em escala de sistema não se obtém por agregação das avaliações individuais, o que fundamenta a existência de supervisão com perspectiva macroprudencial.

Organismos internacionais de estabilidade financeira examinaram a incorporação de aprendizado de máquina a serviços financeiros e identificaram, entre as questões relevantes, a dependência de terceiros fornecedores de modelos e dados, a dificuldade de auditar sistemas complexos e a possibilidade de comportamento correlacionado entre instituições que utilizem modelos similares (CONSELHO DE ESTABILIDADE FINANCEIRA, 2017).

3.6 NOVOS ARRANJOS DE PAGAMENTO, INTERMEDIÇÃO E FINANCIAMENTO

A transformação dos serviços financeiros por tecnologias digitais tem sido analisada como processo que combina redução de custos de transação, entrada de agentes não bancários, desagregação de serviços anteriormente ofertados em conjunto e alteração da relação com o cliente (ARNER; BARBERIS; BUCKLEY, 2016). A análise identifica que a novidade não está na utilização de tecnologia pelo setor financeiro, historicamente intensiva, mas na configuração institucional resultante e na velocidade de entrada de novos agentes.

No ordenamento brasileiro, os arranjos e as instituições de pagamento receberam disciplina legal específica, integrando-se ao sistema de pagamentos brasileiro sob supervisão da autoridade monetária (BRASIL, 2013b). A disciplina do compartilhamento de dados e serviços entre instituições autorizadas foi

estabelecida por atos normativos conjuntos das autoridades competentes, estruturando o modelo de abertura de informações mediante consentimento do cliente (BANCO CENTRAL DO BRASIL; CONSELHO MONETÁRIO NACIONAL, 2020). Diploma posterior dispôs sobre a prestação de serviços de ativos virtuais e sobre a disciplina das prestadoras dessas atividades (BRASIL, 2022), lei que remete à regulamentação infralegal a definição do regime de autorização, supervisão e conduta aplicável a esses agentes, editada em atos posteriores da autoridade monetária, entre os quais as Resoluções BCB nº 519, nº 520 e nº 521, todas de 10 de novembro de 2025, que disciplinam, respectivamente, os processos de autorização para funcionamento, a constituição e a operação das sociedades prestadoras e o enquadramento de determinadas atividades no mercado de câmbio (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2025a, 2025b, 2025c). Trata-se de campo em construção normativa acelerada, no qual a consulta à regulamentação vigente é indispensável. Marco legal específico estabeleceu tratamento diferenciado para empresas nascentes de caráter inovador e instrumentos de investimento (BRASIL, 2021b). Cada um desses diplomas possui objeto, âmbito e mecanismos próprios, e sua aplicação exige consulta aos textos vigentes e à regulamentação infralegal correspondente, objeto de atualização frequente.

Duas questões merecem tratamento analítico. A primeira é a da inclusão. A redução de custos de transação e a dispensa de presença física ampliam o acesso a serviços financeiros para populações anteriormente não atendidas, efeito documentado em diversos contextos. Simultaneamente, a migração de serviços para canais digitais pode reduzir o atendimento presencial de que dependem pessoas com menor acesso a dispositivos e conectividade, produzindo inclusão para uns e exclusão para outros. A avaliação do efeito líquido exige desagregação por segmento populacional.

Um aspecto dessa questão merece desenvolvimento próprio. A avaliação automatizada de risco de crédito, ao substituir a análise caso a caso por modelos ajustados sobre histórico de operações, tende a produzir decisões consistentes para perfis bem representados nos dados de treinamento e decisões de qualidade inferior para perfis sub-representados. Pessoas sem histórico bancário, com renda informal ou com trajetória financeira descontínua encontram-se precisamente nessa segunda condição, o que pode converter ausência de dados em recusa sistemática. O efeito é cumulativo: a recusa impede a formação do histórico que reduziria a recusa futura. Mitigá-lo exige decisões deliberadas de desenho, entre as quais a admissão de fontes alternativas de informação, a verificação de desempenho desagregado por segmento e a existência de via de revisão para o interessado. Nenhuma dessas medidas decorre da otimização do modelo, que é indiferente a quem exclui.

A segunda é a da capacidade de decisão dos usuários. A literatura sobre alfabetização financeira documenta associação entre compreensão de conceitos básicos, como juros compostos, inflação e diversificação de risco, e qualidade das decisões financeiras individuais, com evidência de que o nível de compreensão é substancialmente inferior ao que a complexidade dos produtos disponíveis pressupõe

(LUSARDI; MITCHELL, 2014). A ampliação da oferta de crédito por canais que reduzem o atrito da contratação, sem correspondente ampliação da capacidade de avaliação, apresenta risco de endividamento cuja mitigação depende de regulação de conduta e de educação financeira, e não apenas de transparência formal de informações.

3.7 GOVERNANÇA, CONTROLE INTERNO E AUDITORIA

A função dos controles internos consiste em fornecer segurança razoável quanto ao alcance de objetivos relacionados a operações, divulgação de informações e conformidade, por meio de componentes que articulam ambiente de controle, avaliação de riscos, atividades de controle, informação e comunicação e monitoramento (COMMITTEE OF SPONSORING ORGANIZATIONS OF THE TREADWAY COMMISSION, 2013). A expressão segurança razoável é significativa: estruturas de controle reduzem a probabilidade de falha sem eliminá-la, e sua promessa não é a de impedir todo desvio.

No ordenamento brasileiro, diversos diplomas incorporaram exigências de governança e controle. A responsabilidade das pessoas jurídicas por atos lesivos à administração pública foi objeto de disciplina específica, com previsão de consideração de mecanismos internos de integridade na aplicação de sanções (BRASIL, 2013a). O estatuto jurídico das empresas estatais estabeleceu requisitos de governança, transparência e estruturas de controle (BRASIL, 2016). A legislação de licitações e contratos administrativos incorporou entre seus princípios e diretrizes a gestão por competências e a implementação de práticas contínuas de gestão de riscos e de controle preventivo (BRASIL, 2021a). A lei de responsabilidade fiscal estabeleceu normas de finanças públicas voltadas à responsabilidade na gestão fiscal, com exigências de planejamento, transparência e controle (BRASIL, 2000).

A automação altera a atividade de auditoria de modo substantivo. A possibilidade de examinar a totalidade das transações, em vez de amostra, modifica a lógica de assecuração que fundamentava a técnica de amostragem estatística. Essa possibilidade não elimina, contudo, a necessidade de julgamento profissional: identificar exceções em uma população completa produz volume de itens cuja avaliação de materialidade e de causa permanece atividade humana.

A discussão organizacional sobre inovação como capacidade estratégica sustenta que a incorporação efetiva de novas práticas depende de cultura, liderança e processos de aprendizagem organizacional, e não apenas da adoção de ferramentas, o que situa a transformação digital como processo de mudança organizacional antes de ser processo técnico (REGO et al., 2026). Aplicada à gestão econômica e financeira, essa proposição sugere que os obstáculos à conversão de capacidade analítica em melhoria decisória são predominantemente organizacionais.

3.8 MÉTRICAS, INCENTIVOS E O RISCO DE OTIMIZAR O INDICADOR

A ampliação da capacidade de mensurar produz efeito sobre o comportamento organizacional que a literatura documenta com consistência. A análise sobre sociedades de auditoria argumentou que a expansão de práticas de verificação produz rituais cuja função simbólica de demonstrar controle pode divergir de sua contribuição efetiva para o desempenho, e que a própria auditabilidade passa a moldar a organização das atividades (POWER, 1997). A observação sobre sistemas de avaliação registrou que, quando uma medida se torna objetivo, ela deixa de ser boa medida, uma vez que o comportamento se ajusta ao indicador e não ao construto que ele pretendia representar (STRATHERN, 1997).

A análise crítica sobre a proliferação de métricas de desempenho argumenta que a substituição do julgamento profissional por indicadores padronizados produz efeitos que incluem seleção de atividades facilmente mensuráveis em detrimento de atividades relevantes, desestímulo à assunção de riscos necessários e custo administrativo de produção e verificação dos próprios indicadores (MULLER, 2018). A crítica não sustenta o abandono da mensuração, mas sua limitação a situações em que o construto é mensurável de modo válido e em que o benefício supera os efeitos comportamentais adversos.

A implicação para o objeto deste capítulo é direta. A ampliação da capacidade de mensurar não é neutra em relação ao que a organização passa a perseguir. Dimensões de desempenho que geram registro comparável tornam-se visíveis para a gestão e para os sistemas de incentivo; dimensões que não geram registro comparável tendem a receber atenção decrescente. Esse deslocamento raramente decorre de decisão explícita, o que o torna particularmente difícil de identificar e corrigir.

4 POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO, PREPARAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO

4.1 AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE ANALÍTICA ANTES DO INVESTIMENTO

A avaliação prévia de iniciativas de analítica beneficia-se de perguntas verificáveis. Que decisão específica a análise pretende informar, e quem a toma. Que informação falta atualmente a esse decisor, e por que ela falta. Os dados necessários existem, são acessíveis e apresentam qualidade suficiente para a finalidade. O resultado da análise chegará a quem decide em tempo útil para a decisão. Que ação será tomada de modo distinto em função do resultado. Como se verificará, posteriormente, se a decisão apoiada pela análise foi melhor do que a anterior.

A quinta pergunta é a mais discriminante. Se nenhuma ação será tomada de modo distinto conforme o resultado da análise, o projeto produz informação sem função decisória, e seu valor precisa ser justificado por outra razão. A ausência de resposta a essas perguntas não impede a iniciativa, mas a torna decisão não fundamentada, cuja avaliação posterior fica comprometida pela inexistência de critério prévio.

4.2 EXPLICABILIDADE PROPORCIONAL À CONSEQUÊNCIA

A exigência de compreensão sobre o funcionamento de modelos utilizados em decisões de gestão não precisa ser uniforme. O Quadro 1 organiza uma graduação possível entre tipos de aplicação, requisitos de explicabilidade e mecanismos de controle correspondentes. O quadro é construção analítica montada para efeito de comparação a partir das referências citadas, e não de instrumento validado ou de exigência normativa.

Quadro 1 – Graduação de requisitos conforme a consequência da decisão apoiada

Tipo de aplicação	Exemplo de uso	Requisito de explicabilidade	Controle correspondente
Operacional interna	Priorização de fila de conciliação	Baixo; suficiente verificar desempenho agregado	Monitoramento de indicadores de processo
Suporte a planejamento	Projeção de demanda ou de fluxo de caixa	Médio; premissas e sensibilidade explicitadas	Comparação sistemática entre projetado e realizado
Alocação de recursos	Definição de limites e prioridades de investimento	Alto; fatores determinantes identificáveis	Deliberação colegiada e registro da justificativa
Decisão sobre pessoas	Concessão de crédito, contratação, avaliação	Alto; critérios informáveis à pessoa afetada	Revisão humana, canal de contestação e correção de dados
Divulgação externa	Informação contábil e a mercado	Alto; rastreabilidade completa da origem do número	Auditoria independente e trilha de auditoria

Fonte: elaboração do autor com base nas referências citadas.

A leitura do quadro sugere que o requisito não decorre da complexidade técnica do modelo, mas da consequência da decisão que ele apoia. Um modelo simples aplicado a decisão consequente demanda mais controle do que um modelo complexo aplicado a otimização operacional interna. Essa inversão em relação à intuição corrente merece registro, dado que a atenção regulatória e organizacional tende a se dirigir à sofisticação técnica em vez de ao efeito da decisão.

4.3 COMPETÊNCIAS PROFISSIONAIS E EDUCAÇÃO FINANCEIRA

A competência mais relevante para profissionais de gestão e finanças diante da ampliação da capacidade analítica não é a de construir modelos, mas a de interrogá-los. Isso inclui identificar a variável de referência adotada, examinar a representatividade dos dados de treinamento, verificar o desempenho fora do período de calibração, reconhecer quando a estrutura do problema mudou e distinguir correlação estável de relação causal.

Essa competência é análoga à leitura crítica de demonstrações contábeis, campo em que a formação já dispõe de tradição consolidada: profissionais aprendem que números resultam de escolhas de reconhecimento e mensuração, e que sua interpretação exige conhecer essas escolhas. A transposição desse raciocínio para saídas de modelos preditivos constitui caminho formativo com fundamento estabelecido.

No plano da educação financeira dirigida à população, a evidência sobre a associação entre compreensão de conceitos financeiros e qualidade das decisões individuais sustenta a relevância de iniciativas nessa direção (LUSARDI; MITCHELL, 2014). Cabe registrar que a literatura também documenta limites da educação financeira como instrumento isolado, dado que decisões financeiras ocorrem sob restrição orçamentária, pressão temporal e assimetria informacional que a compreensão conceitual não elimina. A combinação entre educação e regulação de conduta na oferta de produtos apresenta fundamento mais sólido do que qualquer das duas isoladamente.

5 DESAFIOS, RISCOS, LIMITES E CONDIÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO

O primeiro obstáculo reside na qualidade dos dados existentes. Organizações acumulam registros produzidos por sistemas distintos, com definições divergentes do mesmo conceito, granularidades incompatíveis e histórico de alterações não documentado. A reconciliação desses registros é atividade custosa, pouco visível e frequentemente subestimada no planejamento de projetos de analítica, e sua omissão é a causa mais frequente de resultados decepcionantes.

O segundo é a distância entre a equipe de análise e o processo decisório. Estruturas analíticas organizadas como área de serviço, distante das decisões que deveriam informar, produzem análises tecnicamente corretas e praticamente irrelevantes. A proximidade entre quem analisa e quem decide, com compreensão mútua do problema, é condição de utilidade que nenhuma sofisticação técnica compensa.

O terceiro é a degradação de desempenho dos modelos ao longo do tempo. Relações estimadas sobre dados de determinado período perdem validade conforme mudam condições de mercado, comportamento de clientes, regulação e processos internos. A ausência de monitoramento sistemático do desempenho após a implantação mantém em operação modelos cuja validade não é mais verificada, situação cuja consequência se manifesta tipicamente em condições adversas.

O quarto é a dependência de fornecedores. Modelos, plataformas e bases de dados contratados externamente criam dependência cuja reversão se torna progressivamente custosa. A avaliação de portabilidade, de interoperabilidade e de condições de encerramento contratual deveria integrar a decisão de contratação, momento em que o poder de negociação é maior.

O quinto é a assimetria entre a velocidade da decisão automatizada e a velocidade do controle. Sistemas que executam operações em escala e velocidade elevadas podem produzir consequências relevantes antes que mecanismos de controle identifiquem o problema. Limites operacionais definidos

previamente, com interrupção automática ao serem atingidos, constituem resposta técnica a essa assimetria, e sua calibração é decisão de gestão.

O sexto diz respeito aos efeitos distributivos das decisões de gestão. Modelos que otimizam resultado financeiro produzem efeitos sobre trabalhadores, fornecedores, clientes e comunidades que não figuram na função objetivo. A consideração desses efeitos não decorre do sistema, exige decisão explícita da organização e mecanismos que a tornem verificável, sob risco de que a otimização técnica produza consequências que a organização não sustentaria se as tivesse examinado.

Uma limitação analítica merece registro. Parcela substantiva da literatura sobre analítica organizacional e sobre desempenho de práticas de gestão baseia-se em contextos institucionais, regulatórios e de mercado distintos do brasileiro. A transposição de suas conclusões exige mediação, e a produção de investigação empírica sobre organizações brasileiras, incluindo o setor público e organizações de menor porte, permanece agenda relevante.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo partiu da pergunta sobre como utilizar dados e automação para melhorar a gestão econômica e financeira sem perder transparência, controle, segurança e responsabilidade. A análise desenvolvida sustenta que a resposta depende principalmente de decisões organizacionais sobre processos, critérios e responsabilidades, e apenas secundariamente das características das ferramentas adotadas.

Três proposições organizam o que foi discutido. A primeira é que a distinção entre predição e julgamento oferece o critério mais útil para avaliar propostas de automação. Sistemas reduzem o custo de produzir estimativas sobre o que não se conhece, e essa redução aumenta o valor da determinação sobre quanto vale cada desfecho possível, que permanece decisão valorativa. Organizações que não explicitam essa determinação a delegam implicitamente ao desenho técnico, onde permanece menos visível e menos sujeita a deliberação.

A segunda é que a qualidade dos dados constitui condição anterior à sofisticação analítica, e que sua deficiência é a causa mais frequente do baixo retorno de investimentos em analítica. Definições consistentes, correção de processos de captura na origem e rastreabilidade produzem retorno cuja demonstração é dificultada pela invisibilidade dos custos que evitam, o que explica sua persistente subpriorização.

A terceira é que a exigência de compreensão e controle sobre sistemas de apoio à decisão deve ser proporcional à consequência da decisão apoiada, e não à complexidade técnica do modelo. Decisões que afetam pessoas demandam critérios informáveis, revisão humana e canal de contestação, independentemente da simplicidade do método empregado. Otimizações operacionais internas admitem verificação por desempenho agregado, independentemente da sofisticação do modelo.

Cabe registrar o que este texto não pretende ter demonstrado. Sendo ensaio apoiado em revisão narrativa, o capítulo não estabelece a robustez agregada da evidência disponível, não examina organizações ou mercados concretos e reflete um recorte entre outros possíveis. Nenhum valor quantitativo sobre desempenho, retorno de investimento ou indicadores setoriais foi incorporado, opção que preserva a integridade factual ao custo de reduzir a especificidade empírica. As estruturas de referência técnica e os diplomas normativos foram referenciados quanto ao seu objeto, sem reprodução de componentes ou dispositivos, e a regulação financeira tem sido objeto de alteração frequente, o que exige consulta às versões vigentes. O quadro apresentado constitui esquema expositivo, e não exigência normativa.

Do que foi exposto decorrem três direções de investigação. A primeira é a avaliação empírica das condições organizacionais associadas à conversão efetiva de capacidade analítica em alteração de decisão, distinguindo os fatores presentes nos casos com resultado verificável daqueles presentes em iniciativas sem efeito decisório. A segunda é o exame de práticas de monitoramento de desempenho de modelos após a implantação em organizações brasileiras, área em que a literatura documenta lacuna significativa. A terceira é a investigação sobre efeitos distributivos de decisões de gestão apoiadas em otimização automatizada, com atenção a consequências sobre agentes que não figuram nas funções objetivo adotadas.

Reduzido ao essencial, o argumento é este: sistemas estimam, pessoas decidem. A ampliação da capacidade de estimar torna mais consequente, e não menos, a qualidade das decisões sobre o que perseguir, sobre quanto vale cada resultado e sobre quem responde pelo que se decide. Nenhuma dessas questões é resolvida pela disponibilidade de dados, e todas se tornam mais visíveis quando a organização é obrigada a explicitá-las.

REFERÊNCIAS

AGRAWAL, Ajay; GANS, Joshua; GOLDFARB, Avi. **Prediction machines**: the simple economics of artificial intelligence. Boston: Harvard Business Review Press, 2018.

ARNER, Douglas W.; BARBERIS, Janos; BUCKLEY, Ross P. The evolution of Fintech: a new post-crisis paradigm? **Georgetown Journal of International Law**, v. 47, n. 4, p. 1271-1319, 2016.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Resolução BCB nº 519, de 10 de novembro de 2025**. Disciplina os processos de autorização relacionados ao funcionamento das sociedades prestadoras de serviços de ativos virtuais. Brasília, DF: BCB, 2025a.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Resolução BCB nº 520, de 10 de novembro de 2025**. Disciplina a constituição e o funcionamento das sociedades prestadoras de serviços de ativos virtuais e a prestação de serviços de ativos virtuais por outras instituições autorizadas a funcionar pelo Banco Central do Brasil. Brasília, DF: BCB, 2025b.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Resolução BCB nº 521, de 10 de novembro de 2025**. Altera as Resoluções BCB nº 277, nº 278 e nº 279, de 31 de dezembro de 2022, para disciplinar as atividades e operações das prestadoras de serviços de ativos virtuais no mercado de câmbio. Brasília, DF: BCB, 2025c.

BANCO CENTRAL DO BRASIL; CONSELHO MONETÁRIO NACIONAL. **Resolução Conjunta nº 1, de 4 de maio de 2020**. Dispõe sobre a implementação do Sistema Financeiro Aberto. Brasília, DF, 2020.

BRASIL. **Lei Complementar nº 101, de 4 de maio de 2000**. Estabelece normas de finanças públicas voltadas para a responsabilidade na gestão fiscal. Brasília, DF: Presidência da República, 2000.

BRASIL. **Lei nº 12.846, de 1º de agosto de 2013**. Dispõe sobre a responsabilização administrativa e civil de pessoas jurídicas pela prática de atos contra a administração pública. Brasília, DF: Presidência da República, 2013a.

BRASIL. **Lei nº 12.865, de 9 de outubro de 2013**. Dispõe, entre outras matérias, sobre os arranjos de pagamento e as instituições de pagamento integrantes do Sistema de Pagamentos Brasileiro. Brasília, DF: Presidência da República, 2013b.

BRASIL. **Lei nº 13.303, de 30 de junho de 2016**. Dispõe sobre o estatuto jurídico da empresa pública, da sociedade de economia mista e de suas subsidiárias. Brasília, DF: Presidência da República, 2016.

BRASIL. **Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021**. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. Brasília, DF: Presidência da República, 2021a.

BRASIL. **Lei Complementar nº 182, de 1º de junho de 2021**. Institui o marco legal das startups e do empreendedorismo inovador. Brasília, DF: Presidência da República, 2021b.

BRASIL. **Lei nº 14.478, de 21 de dezembro de 2022**. Dispõe sobre diretrizes a serem observadas na prestação de serviços de ativos virtuais e na regulamentação das prestadoras de serviços de ativos virtuais. Brasília, DF: Presidência da República, 2022.

BRYNJOLFSSON, Erik; McELHERAN, Kristina. The rapid adoption of data-driven decision-making. **American Economic Review**, v. 106, n. 5, p. 133-139, 2016.

BRYNJOLFSSON, Erik; ROCK, Daniel; SYVERSON, Chad. Artificial intelligence and the modern productivity paradox: a clash of expectations and statistics. In: AGRAWAL, Ajay; GANS, Joshua; GOLDFARB, Avi (org.). **The economics of artificial intelligence: an agenda**. Chicago: University of Chicago Press, 2019. p. 23-57.

COMITÊ DE BASILEIA DE SUPERVISÃO BANCÁRIA. **Principles for effective risk data aggregation and risk reporting**. Basileia: Bank for International Settlements, 2013.

COMITÊ DE BASILEIA DE SUPERVISÃO BANCÁRIA. **Revisions to the principles for the sound management of operational risk**. Basileia: Bank for International Settlements, 2021.

COMMITTEE OF SPONSORING ORGANIZATIONS OF THE TREADWAY COMMISSION (COSO). **Internal control: integrated framework**. Durham: COSO, 2013.

COMMITTEE OF SPONSORING ORGANIZATIONS OF THE TREADWAY COMMISSION (COSO). **Enterprise risk management: integrating with strategy and performance**. Durham: COSO, 2017.

CONSELHO DE ESTABILIDADE FINANCEIRA. **Artificial intelligence and machine learning in financial services: market developments and financial stability implications**. Basileia: Financial Stability Board, 2017.

KAHNEMAN, Daniel. **Thinking, fast and slow**. New York: Farrar, Straus and Giroux, 2011.

KAHNEMAN, Daniel; SIBONY, Olivier; SUNSTEIN, Cass R. **Noise: a flaw in human judgment**. New York: Little, Brown Spark, 2021.

KNIGHT, Frank H. **Risk, uncertainty and profit**. Boston: Houghton Mifflin, 1921.

LUSARDI, Annamaria; MITCHELL, Olivia S. The economic importance of financial literacy: theory and evidence. **Journal of Economic Literature**, v. 52, n. 1, p. 5-44, 2014.

MEEHL, Paul E. **Clinical versus statistical prediction: a theoretical analysis and a review of the evidence**. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1954.

MULLER, Jerry Z. **The tyranny of metrics**. Princeton: Princeton University Press, 2018.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE NORMALIZAÇÃO (ISO). **ISO 31000:2018: risk management: guidelines**. Genebra: ISO, 2018.

POWER, Michael. **The audit society: rituals of verification**. Oxford: Oxford University Press, 1997.

REDMAN, Thomas C. **Data driven: profiting from your most important business asset**. Boston: Harvard Business Press, 2008.

REGO, Jaimy Paulo da Silva et al. Inovação organizacional como capacidade estratégica: cultura, liderança, aprendizagem e transformação digital. In: PAIXÃO, Joelson Lopes da et al. (org.). **Transformação digital, inovação e impactos multidisciplinares: perspectivas do direito, da saúde, da engenharia e da gestão**. Curitiba: Aurum Editora, 2026. v. 1, p. 93-100.

SIMON, Herbert A. **Administrative behavior: a study of decision-making processes in administrative organizations**. 4. ed. New York: Free Press, 1997.

STRATHERN, Marilyn. Improving ratings: audit in the British university system. **European Review**, v. 5, n. 3, p. 305-321, 1997.

WANG, Richard Y.; STRONG, Diane M. Beyond accuracy: what data quality means to data consumers. **Journal of Management Information Systems**, v. 12, n. 4, p. 5-33, 1996.

CAPÍTULO 9

TRABALHO E PROFISSÕES DO FUTURO: AUTOMAÇÃO, COMPETÊNCIAS E PROTEÇÃO SOCIAL

WORK AND PROFESSIONS OF THE FUTURE: AUTOMATION, SKILLS AND SOCIAL PROTECTION

 <https://doi.org/10.63330/livroautoral912026-009>

Edilene Marques dos Santos

Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente da Universidade Evangélica de Goiás (UNIEVANGÉLICA), Brasil.

E-mail: edilene.mrqs@gmail.com

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/6003928387867186>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5001-7109>

Janeth Reis de Azevedo

Administração na UNITINS - Universidade Estadual do Tocantins

E-mail: janethreis@uft.edu.br

Cristiane Ponte da Silva

Especialista em gestão pública, UESP

E-mail: cristianeponte9@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5095044031118924>

Maitê Guimarães Pinto

Mestra em Administração (PPGA/UNIPAMPA)

E-mail: maiteguimaraespinto@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8118305007288739>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0759-1774>

Rogério Pacheco Bras

Especialista em Educação e Práticas Pedagógicas Contemporâneas, IFFAR

E-mail: rogeriobras.contato@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0353058974362029>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9621-8626>

Resumo

Este capítulo analisa os efeitos da automação e dos sistemas de aprendizado de máquina sobre tarefas, ocupações, condições laborais e trajetórias profissionais. O problema investigado decorre de uma confusão recorrente entre três níveis distintos de análise: a viabilidade técnica de automatizar determinada tarefa, a decisão organizacional de efetivamente automatizá-la e o efeito líquido dessa decisão sobre o volume e a qualidade do emprego. Estimativas amplamente divulgadas sobre desaparecimento de ocupações apoiam-se predominantemente no primeiro nível, e sua transposição para conclusões sobre os dois seguintes carece de sustentação. A pergunta norteadora indaga como aproveitar ganhos de produtividade sem produzir desemprego estrutural, precarização, vigilância excessiva ou exclusão profissional. O texto é um ensaio

teórico qualitativo, construído sobre revisão narrativa crítica de literatura da economia do trabalho, da sociologia do trabalho, dos estudos organizacionais e do direito do trabalho. O argumento central sustenta que a automação tende a transformar conjuntos de tarefas de maneira desigual, criando ganhos e riscos que dependem de decisões organizacionais, políticas de formação, proteção social e distribuição dos benefícios da produtividade. A discussão percorre a análise por tarefas, a evolução do argumento sobre rotinização, o significado das estimativas de exposição, os determinantes da adoção efetiva, a polarização ocupacional, a gestão algorítmica, o trabalho mediado por plataformas e as condições de efetividade das políticas de requalificação. Conclui-se que os resultados observados dependem de escolhas institucionais e não de propriedades intrínsecas das tecnologias.

Palavras-chave: Automação do trabalho; Conteúdo de tarefas; Gestão algorítmica; Requalificação profissional; Proteção social.

Abstract

This chapter analyses the effects of automation and machine learning systems on tasks, occupations, working conditions and career trajectories. The problem addressed stems from a recurring conflation of three distinct levels of analysis: the technical feasibility of automating a given task, the organisational decision actually to automate it, and the net effect of that decision on the volume and quality of employment. Widely publicised estimates of occupational disappearance rest predominantly on the first level, and their transposition into conclusions about the other two lacks support. The guiding question asks how productivity gains can be harnessed without producing structural unemployment, precarity, excessive surveillance or professional exclusion. The text is a qualitative theoretical essay built on a critical narrative review of scientific, documentary and normative literature drawn from labour economics, the sociology of work, organisation studies and labour law. The central argument holds that automation tends to transform sets of tasks unevenly, creating gains and risks that depend on organisational decisions, training policies, social protection and the distribution of productivity benefits. The discussion covers task-based analysis, the evolution of the routinisation argument, the meaning of exposure estimates, the determinants of actual adoption, occupational polarisation, algorithmic management, platform-mediated work, and the conditions under which reskilling policies are effective. It concludes that observed outcomes depend on institutional choices rather than on intrinsic properties of technologies.

Keywords: Automation of work; Task content; Algorithmic management; Reskilling; Social protection.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com os efeitos da mecanização sobre o emprego acompanha a industrialização desde seus primeiros episódios, e sua recorrência ao longo de mais de dois séculos oferece elemento analítico que merece consideração antes de qualquer prognóstico. A revisão histórica dessa ansiedade tecnológica identificou que previsões de desemprego tecnológico generalizado foram formuladas repetidamente, que a maior parte delas não se confirmou no agregado e que essa constatação não constitui, por si, garantia de que a situação atual reproduzirá o padrão anterior (MOKYR; VICKERS; ZIEBARTH, 2015). A observação de que episódios passados se resolveram por criação de novas atividades não demonstra que o próximo se resolverá do mesmo modo, e a de que a situação atual é qualitativamente distinta tampouco se demonstra por sua novidade percebida.

O que se pode afirmar com maior segurança é de natureza distinta. A ausência de desemprego tecnológico agregado em episódios anteriores coexistiu com custos de transição substanciais e desigualmente distribuídos. Trabalhadores cujas ocupações desapareceram nem sempre foram os mesmos que ocuparam as posições criadas, e a distância entre esses dois conjuntos, medida em qualificação, localização geográfica e geração, determinou quem absorveu o custo do ajuste. Esse é o problema que permanece relevante independentemente do prognóstico agregado.

O debate contemporâneo apresenta uma dificuldade adicional de estruturação. Afirmações sobre o futuro do trabalho misturam três questões que exigem tratamento separado. A primeira é técnica: quais tarefas são passíveis de execução por sistemas automatizados com desempenho aceitável. A segunda é econômica e organizacional: quais dessas tarefas serão efetivamente automatizadas, considerando custo de implementação, escala de operação, preço relativo do trabalho e disponibilidade de competências para operar os sistemas. A terceira é distributiva: como os ganhos de produtividade resultantes se repartem entre lucros, salários, preços e redução de jornada.

Essas três questões possuem respostas parcialmente independentes. Uma tarefa tecnicamente automatizável pode não ser automatizada por décadas se o custo de implementação superar o do trabalho que substituiria. Uma automação efetivamente realizada pode produzir aumento do emprego na mesma ocupação, se a redução de custo ampliar suficientemente a demanda pelo serviço. E ganhos de produtividade podem ser integralmente apropriados por uma das partes envolvidas, com o resultado agregado favorável coexistindo com deterioração da situação de segmentos específicos.

O problema examinado a seguir situa-se exatamente aí. A hipótese que orienta a análise é que a maior parte das divergências no debate público decorre da confusão entre esses níveis, e que a separação analítica entre eles permite formular questões respondíveis no lugar de prognósticos que a evidência disponível não sustenta.

A pergunta norteadora é, portanto: **como aproveitar ganhos de produtividade sem produzir desemprego estrutural, precarização, vigilância excessiva ou exclusão profissional?** O objetivo é discutir os efeitos da inteligência artificial e da automação sobre tarefas, ocupações, condições laborais e trajetórias profissionais.

A tese central é que a automação tende a transformar conjuntos de tarefas de maneira desigual, criando ganhos e riscos que dependem de decisões organizacionais, políticas de formação, proteção social e distribuição dos benefícios da produtividade. A ênfase na dependência dessas decisões é deliberada: ela desloca a análise do registro da previsão para o da escolha, o que é analiticamente mais adequado e politicamente mais exigente.

A relevância dessa discussão é ampla. Trabalhadores de todas as áreas avaliam trajetórias sob incerteza sobre a permanência de suas atividades. Empregadores decidem sobre investimentos cujos efeitos sobre a organização do trabalho raramente são objeto de deliberação explícita. Instituições formadoras definem programas cujos egressos ingressarão em mercados de trabalho que ainda estão se configurando. Profissionais do direito interpretam relações laborais cujas formas escapam parcialmente às categorias existentes. Gestores públicos desenham políticas de proteção social sobre bases contributivas construídas para outra configuração produtiva.

A exposição segue este itinerário. Apresentado o método, a fundamentação teórica examina a análise por tarefas, a evolução do argumento sobre rotinização, o significado das estimativas de exposição, os determinantes da adoção efetiva, a polarização ocupacional, a gestão algorítmica, o trabalho em plataformas e as condições de efetividade da requalificação. A quarta seção discute possibilidades de aplicação. A quinta examina o que dificulta a realização do que se propôs. O fecho retoma a pergunta inicial e demarca o alcance do que foi sustentado.

2 PERCURSO METODOLÓGICO

O texto é um ensaio teórico de natureza qualitativa. Sua base é uma revisão narrativa crítica de literatura científica, documental e normativa relacionada ao problema formulado. Os requisitos protocolares de revisões sistemáticas, de escopo ou integrativas não foram atendidos. Tampouco se trata de investigação empírica sobre setores, ocupações ou organizações específicas.

As fontes consultadas agrupam-se em quatro conjuntos. O primeiro reúne a literatura de economia do trabalho sobre conteúdo de tarefas, mudança tecnológica e efeitos sobre emprego e salários, incluindo contribuições que divergem substantivamente quanto à magnitude e à direção desses efeitos. O segundo compreende os estudos sociológicos e organizacionais sobre controle do trabalho, gestão algorítmica e transformações nas relações laborais. O terceiro abrange documentos de organismos internacionais sobre o

futuro do trabalho e sobre trabalho em plataformas digitais. O quarto agrega legislação brasileira relativa a relações de trabalho, teletrabalho, terceirização e proteção previdenciária.

Foi conferida atenção deliberada à inclusão de posições divergentes. O campo apresenta controvérsia substantiva sobre a magnitude da exposição ocupacional à automação, sobre o efeito líquido no emprego e sobre a interpretação dos dados disponíveis, e a apresentação de qualquer dessas posições como consenso produziria distorção. Estimativas quantitativas divulgadas na literatura são referenciadas quanto à sua abordagem metodológica e às divergências entre elas, sem reprodução dos valores, dado que sua citação isolada tende a ser interpretada como projeção quando constitui, em rigor, medida de exposição sob premissas específicas.

Quatro restrições devem ser explicitadas. A primeira é a ausência de valores quantitativos sobre proporção de ocupações expostas, elasticidades, taxas de adoção ou efeitos sobre emprego, pelas razões expostas. A segunda é que nenhuma previsão sobre desaparecimento de ocupações específicas é formulada, dado que a literatura não sustenta afirmações dessa natureza. A terceira é que os diplomas normativos foram referenciados quanto ao seu objeto, sem reprodução de dispositivos, e a legislação trabalhista tem sido objeto de alteração, o que exige consulta às versões vigentes. A quarta é que as observações sobre práticas organizacionais derivam da literatura consultada e não de verificação direta. O que segue tem valor interpretativo e está aberto a refutação.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E DISCUSSÃO CRÍTICA

3.1 TAREFAS, OCUPAÇÕES E A UNIDADE ADEQUADA DE ANÁLISE

A contribuição analítica mais consequente do campo consistiu no deslocamento da unidade de análise da ocupação para a tarefa. A formulação que estabeleceu essa abordagem propôs que tecnologias computacionais substituem trabalho humano em tarefas que podem ser descritas por regras explícitas e complementam o trabalho em tarefas que envolvem resolução de problemas não estruturados e interação complexa, de modo que o efeito sobre uma ocupação depende da composição de tarefas que a integram (AUTOR; LEVY; MURNANE, 2003).

A implicação é substantiva. Ocupações são conjuntos heterogêneos de atividades, e raramente a totalidade dessas atividades apresenta o mesmo grau de automatizabilidade. Um contador executa lançamentos padronizados, elabora conciliações, interpreta situações de enquadramento tributário incerto, comunica-se com gestores e responde por conformidade. Um radiologista analisa imagens, correlaciona achados com histórico clínico, comunica resultados e participa de decisões terapêuticas. Em ambos os casos, a automação de parte das atividades altera a composição do trabalho sem eliminar a ocupação, e o efeito sobre o volume de emprego depende de como a demanda pelo serviço responde à mudança de custo.

A análise que sistematizou essa questão argumentou que a atenção pública se concentra desproporcionalmente na substituição e negligencia a complementaridade, apesar de esta última ser, historicamente, o mecanismo mais consequente: o aumento de produtividade em tarefas automatizadas eleva o valor das tarefas remanescentes que o trabalho humano executa, e a redução de custo do serviço pode ampliar a demanda em magnitude suficiente para elevar o emprego total na atividade (AUTOR, 2015). O exame histórico dessa dinâmica em setores específicos documentou situações em que a automação substancial de tarefas coexistiu com crescimento do emprego na mesma ocupação, precisamente por esse mecanismo (BESSEN, 2015).

Um limite fundamental à automação foi formulado como paradoxo: sabemos mais do que conseguimos explicar, de modo que atividades cuja execução depende de conhecimento tácito não podem ser transformadas em regras explícitas por quem as executa (POLANYI, 1966). Esse limite explicava, até período recente, a persistência de tarefas aparentemente simples que resistiam à automação. Sua relevância foi parcialmente alterada por métodos de aprendizado que inferem regularidades a partir de exemplos, dispensando a formulação explícita das regras, o que constitui a mudança qualitativa mais importante do período recente.

3.2 DA CLASSIFICAÇÃO DE OCUPAÇÕES À ANÁLISE DO CONTEÚDO DE TAREFAS

A caracterização das capacidades atuais dos sistemas de aprendizado de máquina identificou critérios que distinguem tarefas adequadas a esses métodos: existência de conjuntos amplos de exemplos com resultado conhecido, definição clara do que constitui desempenho adequado, tolerância a erro, ausência de necessidade de explicação detalhada da decisão e estabilidade das condições em que a tarefa é executada (BRYNJOLFSSON; MITCHELL, 2017). A aplicação desses critérios ao conteúdo de tarefas das ocupações produziu constatação relevante: quase nenhuma ocupação é integralmente composta por tarefas que satisfazem esses critérios, e quase todas contêm alguma tarefa que os satisfaz (BRYNJOLFSSON; MITCHELL; ROCK, 2018).

Essa constatação sustenta uma proposição de alcance amplo: o efeito predominante da difusão dessas tecnologias tende a ser a reconfiguração da composição de tarefas da maior parte das ocupações, e não a eliminação de um subconjunto delas. A discussão sobre inteligência artificial e o futuro das profissões desenvolve essa distinção ao contrapor a hipótese de substituição funcional, que projeta a supressão de atividades profissionais, à hipótese de reconfiguração estrutural, que projeta a alteração do conteúdo, da divisão e da hierarquia das atividades, argumentando que a segunda descreve melhor os processos observáveis (MIRANDA et al., 2026).

Uma consequência dessa reconfiguração merece atenção. Quando as tarefas mais padronizadas de uma ocupação são automatizadas, o trabalho remanescente concentra-se nas atividades de maior exigência

cognitiva ou relacional. Esse deslocamento é frequentemente apresentado como enriquecimento do trabalho, e pode sê-lo. Pode também produzir intensificação, uma vez que as tarefas rotineiras eventualmente forneciam intervalos de menor demanda cognitiva cuja supressão eleva a carga sustentada ao longo da jornada. A avaliação desse efeito exige investigação específica e não se resolve por dedução.

3.3 ESTIMATIVAS DE EXPOSIÇÃO E O QUE ELAS MEDEM

O debate público foi fortemente influenciado por estimativas sobre a proporção de ocupações suscetíveis à automação. A análise que produziu as estimativas mais divulgadas classificou ocupações conforme a possibilidade técnica de sua computadorização, a partir de avaliação de especialistas sobre um subconjunto de ocupações e de extrapolação estatística para as demais, utilizando como preditores atributos relacionados a percepção, manipulação, criatividade e inteligência social (FREY; OSBORNE, 2017).

A crítica metodológica mais consequente a essa abordagem observou que a classificação operou no nível da ocupação e não da tarefa, o que produz superestimação sistemática: uma ocupação classificada como automatizável contém, tipicamente, tarefas que não o são, e trabalhadores com a mesma denominação ocupacional executam conjuntos de tarefas que variam substancialmente entre estabelecimentos e países. A aplicação de abordagem por tarefas, utilizando dados sobre atividades efetivamente executadas por trabalhadores individuais, produziu estimativas de exposição substancialmente inferiores (ARNTZ; GREGORY; ZIERAHN, 2016). Análise posterior no mesmo quadro metodológico examinou a relação entre exposição, uso de competências e participação em formação, identificando que trabalhadores em ocupações mais expostas apresentam, em geral, menor participação em atividades de treinamento, o que agrava a dificuldade de transição (NEDELKOSKA; QUINTINI, 2018).

Três observações delimitam o que essas estimativas podem sustentar. A primeira é que todas medem exposição ou viabilidade técnica, e nenhuma mede adoção efetiva ou efeito sobre emprego. A segunda é que a divergência entre elas decorre principalmente da unidade de análise adotada, e não de discordância sobre as capacidades técnicas. A terceira é que sua interpretação como projeção de perda de postos constitui erro de leitura, ainda que a divulgação frequentemente as apresente assim.

Investigação empírica sobre o efeito da adoção de robôs industriais em mercados de trabalho locais identificou efeitos negativos sobre emprego e salários nas áreas mais expostas, com magnitude que varia conforme a especificação adotada (ACEMOGLU; RESTREPO, 2020). O quadro analítico que os mesmos autores desenvolveram propõe que o efeito líquido da automação decorre do balanço entre o deslocamento de trabalho em tarefas automatizadas e a criação de novas tarefas em que o trabalho humano apresenta vantagem comparativa, sendo esse balanço determinado por decisões de investimento e por incentivos institucionais, incluindo a estrutura tributária relativa entre capital e trabalho (ACEMOGLU; RESTREPO,

2019). A implicação normativa é relevante: se o ritmo de criação de novas tarefas responde a incentivos, ele constitui objeto legítimo de política e não parâmetro exógeno.

3.4 ADOÇÃO EFETIVA: POR QUE O POTENCIAL TÉCNICO NÃO DETERMINA O RESULTADO

A distância entre viabilidade técnica e adoção efetiva é determinada por fatores cuja consideração o debate frequentemente omite. O custo total de implementação inclui não apenas a aquisição do sistema, mas a reengenharia de processos, a integração com sistemas existentes, o treinamento de operadores e o período de desempenho reduzido durante a transição. Esse custo é fixo em larga medida, o que torna a automação economicamente atrativa em operações de escala e desvantajosa em operações menores.

O preço relativo do trabalho constitui segundo determinante. Em contextos de custo laboral elevado, a substituição apresenta retorno mais rápido; em contextos de custo reduzido, a mesma tecnologia permanece economicamente desinteressante. Essa dependência implica que a difusão de uma tecnologia idêntica produzirá resultados distintos em economias com estruturas salariais distintas, o que limita a transposição de conclusões entre países.

A disponibilidade de competências complementares constitui terceiro determinante. Sistemas automatizados exigem pessoas capazes de configurá-los, operá-los, manter sua integridade e interpretar suas saídas. A escassez dessas competências constitui restrição efetiva à adoção, e sua superação opera em prazo determinado pela formação, não pela disponibilidade de equipamento.

Um quarto determinante, de natureza institucional, merece registro. Arranjos de negociação coletiva, regulação da dispensa e representação dos trabalhadores nas decisões de investimento influenciam tanto o ritmo quanto a forma da introdução tecnológica. Contextos com participação institucionalizada dos trabalhadores tendem a produzir introdução mais negociada, com maior atenção à realocação interna e ao treinamento, ao passo que contextos com menor regulação tendem a produzir ajuste por dispensa. Nenhuma dessas configurações decorre da tecnologia.

3.5 POLARIZAÇÃO, SALÁRIOS E DISTRIBUIÇÃO DOS GANHOS

A análise da evolução da estrutura ocupacional em economias avançadas identificou padrão de polarização, caracterizado por crescimento relativo do emprego em ocupações de alta remuneração e em ocupações de baixa remuneração, com redução na faixa intermediária. A explicação proposta associa esse padrão à concentração de tarefas rotineiras justamente nas ocupações de qualificação e remuneração intermediárias, combinada com a dificuldade de automatizar tanto atividades de alta complexidade cognitiva quanto atividades manuais não rotineiras executadas em ambientes variáveis (GOOS; MANNING; SALOMONS, 2014).

Esse padrão possui consequência distributiva relevante. A redução de ocupações intermediárias afeta trajetórias de mobilidade ascendente que dependiam justamente dessas posições como etapa intermediária, e trabalhadores deslocadas dessa faixa tendem a se realocar em ocupações de menor remuneração com maior frequência do que em ocupações de maior remuneração. A polarização da estrutura ocupacional traduz-se, assim, em ampliação da dispersão salarial.

A questão da distribuição dos ganhos de produtividade merece tratamento explícito. Ganhos de produtividade podem ser apropriados sob a forma de maior remuneração do capital, de redução de preços ao consumidor, de aumento de salários ou de redução de jornada com manutenção de remuneração. A escolha entre essas formas não é técnica: depende de poder de barganha, de arranjos institucionais de negociação e de política tributária. A observação de que períodos históricos distintos apresentaram repartições substancialmente diferentes dos ganhos de produtividade sustenta que essa repartição é variável institucional, e não constante tecnológica.

A discussão sobre a possibilidade de escassez estrutural de trabalho, formulada como cenário em que a capacidade de máquinas de executar tarefas cresça mais rapidamente do que a criação de novas atividades em que o trabalho humano tenha vantagem, sustenta que o problema central de longo prazo não seria a produção de bens e serviços, mas a distribuição de renda e a atribuição de sentido em sociedades organizadas em torno do trabalho remunerado (SUSSKIND, 2020). Trata-se de cenário prospectivo, cuja probabilidade de realização é objeto de controvérsia substantiva e cuja apresentação como projeção careceria de sustentação empírica.

3.6 GESTÃO ALGORÍTMICA, VIGILÂNCIA E ASSIMETRIA DE PODER

A incorporação de sistemas de coordenação automatizada às relações de trabalho alterou a forma do controle gerencial. A revisão que sistematizou esse campo identificou que sistemas algorítmicos exercem funções de direção, avaliação e disciplina que tradicionalmente cabiam a supervisores humanos, operando de modo abrangente, instantâneo, interativo e opaco, características que ampliam a assimetria informacional entre gestão e trabalhadores e reconfiguram o terreno de disputa sobre o controle do processo de trabalho (KELLOGG; VALENTINE; CHRISTIN, 2020).

A dimensão da opacidade merece registro específico. Em arranjos de supervisão convencional, o trabalhador pode identificar quem avalia seu desempenho, conhecer os critérios aplicados e contestá-los. Em arranjos de coordenação algorítmica, os critérios podem ser inacessíveis, variáveis e ajustados sem comunicação, o que dificulta tanto a adaptação quanto a contestação. A análise sobre assimetrias informacionais em trabalho mediado por plataformas documentou que trabalhadores operam com informação parcial sobre a alocação de tarefas e sobre a formação de sua remuneração, enquanto a plataforma dispõe de informação completa sobre ambas (ROSENBLAT; STARK, 2016).

A discussão sociológica sobre controle do processo de trabalho oferece referencial de longa data para essa análise, ao caracterizar a separação entre concepção e execução como movimento pelo qual o conhecimento sobre o processo produtivo se concentra na gestão, reduzindo a autonomia de quem executa (BRAVERMAN, 1974). A tese, formulada em outro contexto tecnológico e objeto de crítica substantiva quanto à sua generalidade, mantém utilidade analítica para examinar arranjos em que a coordenação algorítmica concentra o conhecimento sobre o funcionamento do sistema.

A vigilância constitui dimensão associada. Sistemas que registram continuamente localização, ritmo, pausas, interações e desempenho produzem base de informação cuja utilização para avaliação e disciplina pode ser desproporcional em relação à finalidade declarada. A avaliação da legitimidade dessas práticas envolve ponderação entre o interesse organizacional na verificação da prestação e o direito à privacidade e à dignidade do trabalhador, ponderação cujos parâmetros dependem de norma e de negociação, e não de capacidade técnica.

3.7 TRABALHO MEDIADO POR PLATAFORMAS E A CLASSIFICAÇÃO JURÍDICA

A organização do trabalho por meio de plataformas digitais produziu arranjos cuja qualificação jurídica tem sido objeto de controvérsia em diversos ordenamentos. Análise de organismo internacional sobre o tema identificou que plataformas de trabalho digital alteram a organização e a distribuição do trabalho, apresentando simultaneamente possibilidades de acesso a oportunidades e desafios relativos a regularidade de renda, condições de trabalho, proteção social e representação coletiva (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO, 2021).

Investigação empírica sobre trabalho em plataformas em escala global identificou combinação característica entre autonomia sobre horários e localização, valorizada pelos trabalhadores, e controle algorítmico sobre alocação, avaliação e remuneração, que restringe substancialmente essa autonomia, produzindo configuração que não corresponde nem ao trabalho subordinado convencional nem ao trabalho autônomo clássico (WOOD et al., 2019). A análise brasileira sobre o fenômeno caracterizou-o como forma de autogerenciamento subordinado, na qual o discurso do empreendedorismo coexiste com a transferência ao trabalhador dos custos, riscos e responsabilidades da atividade, sem correspondente autonomia sobre suas condições determinantes (ABÍLIO, 2019).

A análise crítica sobre a transformação do trabalho de serviços na era digital sustenta que essas configurações representam menos uma novidade absoluta do que a intensificação de tendências de informalização e de precarização já em curso, com a mediação tecnológica ampliando a escala e a eficiência de arranjos historicamente conhecidos (ANTUNES, 2018). A caracterização de um segmento crescente de trabalhadores marcado por insegurança de vínculo, de renda e de proteção social, com implicações sobre

identidade profissional e sobre participação política, oferece quadro interpretativo mais amplo para essas transformações (STANDING, 2011).

Do ponto de vista jurídico, a dificuldade central reside na inadequação parcial das categorias existentes. A subordinação, elemento caracterizador da relação de emprego, foi historicamente aferida por indicadores como controle de horário, pessoalidade e direção direta da prestação, indicadores cuja presença em arranjos algorítmicos é discutível ainda quando o controle efetivo sobre a atividade é substancial. A proposição de que a proteção laboral se organize a partir do estado profissional da pessoa, e não exclusivamente do contrato de trabalho subordinado, oferece caminho alternativo ao propor a garantia de direitos vinculados à trajetória e não ao vínculo específico (SUPLOT, 2001). Trata-se de proposta doutrinária, objeto de debate, e não de solução normativa adotada.

No ordenamento brasileiro, a relação de emprego é caracterizada pela consolidação das leis do trabalho, com alterações substanciais introduzidas por reforma legislativa que dispôs, entre outras matérias, sobre modalidades contratuais, jornada e negociação coletiva (BRASIL, 1943; BRASIL, 2017). O teletrabalho recebeu disciplina específica, posteriormente alterada quanto a definição, controle de jornada e regime aplicável (BRASIL, 2022). A qualificação jurídica das relações mediadas por plataformas permanece objeto de debate legislativo e de decisões judiciais divergentes, e este capítulo não afirma a existência de entendimento consolidado sobre a matéria, cuja verificação exige consulta a fontes atualizadas.

3.8 REQUALIFICAÇÃO E TRANSIÇÃO: PROMESSA E CONDIÇÕES DE EFETIVIDADE

A requalificação profissional figura como resposta central em praticamente todo documento de política sobre o futuro do trabalho, e sua eficácia efetiva depende de condições que a formulação genérica não explicita.

A primeira condição é temporal. Programas de formação produzem efeito sobre a oferta de competências com defasagem de meses a anos, ao passo que decisões de automação podem alterar a demanda em prazo substancialmente menor. A antecipação, e não a reação, constitui requisito de eficácia, o que exige capacidade de identificar tendências setoriais antes que se manifestem em dispensas.

A segunda é de acesso. A evidência de que trabalhadores em ocupações mais expostas à automação participam menos de atividades de formação indica que a oferta de treinamento, isoladamente, não alcança quem mais dele necessita (NEDELKOSKA; QUINTINI, 2018). Barreiras de tempo, custo, distância, escolaridade prévia e informação determinam a participação efetiva, e sua remoção exige desenho específico.

A terceira é de qualidade e reconhecimento. Formações de curta duração sem reconhecimento no mercado produzem certificados sem efeito sobre a empregabilidade. A articulação entre programas

formativos e demandas efetivamente existentes, bem como o reconhecimento formal de aprendizagens realizadas fora do sistema educacional, constituem elementos de desenho cuja ausência compromete o resultado.

A quarta é de sustentação material durante a transição. Aprender exige tempo que compete com trabalho remunerado, e trabalhadores sem reserva financeira não podem interromper a atividade para se qualificar. Arranjos que combinam formação com sustentação de renda apresentam viabilidade que programas de formação isolados não possuem.

A discussão sobre aprendizagem ao longo da vida no contexto contemporâneo examina justamente essa tensão, identificando que o paradigma da formação permanente contém potencialidades relacionadas à autonomia e à adaptabilidade e simultaneamente tensões relativas à responsabilização individual, à mercantilização da formação e às condições materiais desiguais de sua realização (FREIRES et al., 2026). A observação é pertinente porque a prescrição de aprendizagem contínua, quando desacompanhada das condições que a viabilizam, transfere a quem tem menos recursos o ônus de absorver transformações decididas em outra instância.

A declaração de organismo internacional sobre o futuro do trabalho articula essa preocupação ao propor abordagem centrada nas pessoas, que combine investimento nas capacidades dos trabalhadores, nas instituições do trabalho e em trabalho decente e sustentável, situando o direito à aprendizagem ao longo da vida entre os elementos dessa abordagem (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO, 2019).

4 POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO, PREPARAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO

4.1 DESENHO DO TRABALHO: COMPLEMENTARIDADE COMO ESCOLHA

A distinção entre automação substitutiva e automação complementar constitui, do ponto de vista organizacional, escolha de desenho e não característica da tecnologia. Um mesmo sistema pode ser configurado para executar uma tarefa dispensando o trabalhador ou para fornecer informação que amplia sua capacidade de decidir. A diferença reside em decisões sobre divisão de tarefas, sobre onde se situa a autoridade decisória e sobre que informação é disponibilizada a quem.

Três parâmetros de desenho merecem consideração explícita. O primeiro é a alocação da decisão: sistemas que produzem recomendação submetida à apreciação de quem executa preservam autonomia e responsabilidade, ao passo que sistemas que determinam a ação convertem o trabalhador em executor de instruções. O segundo é a transparência dos critérios: trabalhadores que compreendem a lógica do sistema podem identificar situações em que ele opera inadequadamente, capacidade que constitui salvaguarda relevante. O terceiro é a destinação do tempo liberado: a redução do tempo por tarefa pode ser convertida

em aumento do volume de trabalho, em ampliação da qualidade da execução ou em redução de jornada, e essa conversão é decisão gerencial.

A proposição de que a automação de tarefas rotineiras eleva o valor das tarefas remanescentes (AUTOR, 2015) só se realiza quando o desenho organizacional efetivamente aloca essas tarefas a quem permanece na atividade. Configurações que fragmentam o trabalho remanescente em atividades de baixa qualificação produzem resultado oposto ao previsto pelo mecanismo de complementaridade.

4.2 DIMENSÕES DE EXPOSIÇÃO E RESPOSTAS CORRESPONDENTES

O Quadro 1 organiza dimensões pelas quais a exposição de um trabalhador ou de um segmento à transformação tecnológica pode ser caracterizada, e as respostas de política correspondentes a cada uma. Trata-se de esquema analítico organizado com finalidade expositiva a partir das referências citadas, e não de instrumento de diagnóstico validado ou de escala de mensuração.

Quadro 1 – Dimensões de exposição à transformação do trabalho e respostas correspondentes

Dimensão	Caracterização	Resposta pertinente	Risco da omissão
Composição de tarefas	Proporção de atividades padronizáveis na ocupação	Redesenho do trabalho e formação em tarefas complementares	Erosão gradual do conteúdo sem reação
Escala do empregador	Viabilidade econômica da automação conforme o porte	Apoio à modernização de pequenas operações	Concentração produtiva por diferencial de custo
Qualificação prévia	Capacidade de absorver formação adicional	Elevação de escolaridade e formação de base	Programas de requalificação sem efeito
Concentração territorial	Dependência local de um setor exposto	Diversificação produtiva regional	Deterioração de mercados de trabalho locais
Fase da trajetória	Distância em relação à aposentadoria	Transição assistida ou proteção específica	Desemprego de longa duração em idade avançada
Forma de vínculo	Cobertura por proteção social contributiva	Extensão de cobertura a formas atípicas	Ausência de proteção no momento da transição
Representação coletiva	Existência de canal de negociação sobre a mudança	Participação institucionalizada nas decisões	Introdução unilateral com ajuste por dispensa

Fonte: elaboração do autor com base nas referências citadas.

A leitura do quadro sugere que a exposição é multidimensional e que a mesma tecnologia produz situações substancialmente distintas conforme a combinação de dimensões que caracteriza cada trabalhador. Políticas formuladas com base em uma única dimensão, tipicamente a composição de tarefas, tendem a alcançar apenas parte do problema.

4.3 PROTEÇÃO SOCIAL E TRANSIÇÃO

Sistemas de proteção social construídos sobre a relação de emprego formal enfrentam dificuldade específica quando a proporção de trabalhadores em formas atípicas de vínculo se amplia. A base contributiva se estreita simultaneamente ao aumento da demanda por proteção, configuração cuja sustentação exige revisão das fontes de financiamento ou da arquitetura de cobertura.

Três direções de resposta aparecem na literatura e no debate de política. A primeira consiste em estender a cobertura de proteção a formas de trabalho não subordinado, desvinculando determinados direitos da modalidade contratual. A segunda consiste em criar mecanismos de transição que combinem sustentação de renda, formação e apoio à recolocação por período determinado, orientados a trabalhadores deslocados por transformação setorial. A terceira consiste em revisar as bases de financiamento da proteção social, questão que envolve tanto a estrutura tributária relativa entre capital e trabalho quanto a sustentabilidade fiscal de longo prazo.

Nenhuma dessas direções é tecnicamente simples nem politicamente consensual, e a apresentação de qualquer delas como solução evidente careceria de fundamento. O que a análise sustenta é mais modesto: a arquitetura atual de proteção pressupõe uma configuração de vínculos cuja participação relativa vem se alterando, e a ausência de revisão produz cobertura decrescente por omissão e não por decisão.

No ordenamento brasileiro, o regime geral de previdência social organiza-se sobre base contributiva com categorias de segurados definidas em lei (BRASIL, 1991). A adequação dessas categorias a formas de trabalho mediadas por plataformas constitui questão em discussão, cuja resolução envolve tanto a qualificação jurídica da relação quanto o desenho do financiamento.

5 DESAFIOS, RISCOS, LIMITES E CONDIÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO

Um primeiro desafio é a assimetria informacional entre quem decide sobre a introdução tecnológica e quem é afetado por ela. Decisões de investimento em automação são tomadas com antecedência considerável em relação a seus efeitos sobre o emprego, e a ausência de mecanismos de informação prévia impede tanto a preparação individual quanto a negociação coletiva sobre a forma da transição.

O segundo é a defasagem entre a velocidade da transformação e a das políticas de resposta. Programas de formação, revisão de currículos e alteração de sistemas de proteção operam em prazos que excedem o das decisões empresariais de investimento. Essa defasagem não é eliminável, mas pode ser atenuada por sistemas de identificação antecipada de tendências setoriais e por arranjos de resposta rápida.

O terceiro é a heterogeneidade dos efeitos entre setores, territórios e grupos. Análises agregadas ocultam situações em que ganhos e perdas se distribuem de modo muito desigual, e políticas formuladas sobre médias tendem a não alcançar os segmentos mais afetados. A desagregação territorial e setorial constitui requisito analítico para o desenho de respostas adequadas.

O quarto é o risco de que a resposta se limite à formação individual. Programas de requalificação são politicamente atrativos por atribuírem a solução ao esforço individual e por não exigirem alteração de arranjos distributivos. Sua efetividade, contudo, depende de que existam postos disponíveis compatíveis com a formação oferecida, condição que a formação não produz por si.

O quinto diz respeito à representação coletiva. A dispersão de trabalhadores em arranjos mediados por plataformas, sem local de trabalho comum e frequentemente sem reconhecimento de vínculo, dificulta substancialmente a organização coletiva pelos meios convencionais. A construção de formas de representação adequadas a essas configurações constitui questão em aberto, cuja resolução afeta diretamente a capacidade de negociar as condições da transformação.

O sexto é o risco de que a vigilância laboral se normalize por ausência de limite explícito. A capacidade técnica de monitorar tende a ser exercida na ausência de restrição, e a definição de limites proporcionais à finalidade legítima exige norma, negociação ou ambas. A omissão nesse ponto produz, por acumulação de práticas, um padrão que posteriormente se torna difícil de reverter.

Uma limitação analítica merece registro. Parcela substantiva da literatura empírica sobre efeitos da automação no emprego foi produzida a partir de dados de economias avançadas, com estruturas de mercado de trabalho, níveis de formalização e composição setorial distintos dos brasileiros. A elevada informalidade e a heterogeneidade produtiva do mercado de trabalho brasileiro sugerem que os mecanismos identificados podem operar de modo distinto, e a produção de investigação empírica sobre esse contexto permanece agenda relevante.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo partiu da pergunta sobre como aproveitar ganhos de produtividade sem produzir desemprego estrutural, precarização, vigilância excessiva ou exclusão profissional. A análise desenvolvida sustenta que a resposta depende de decisões organizacionais, políticas e distributivas que a tecnologia não determina, e que o deslocamento do debate do registro da previsão para o da escolha constitui condição para formular respostas úteis.

O argumento sustenta-se em três pontos. A primeira é que a unidade adequada de análise é a tarefa, e não a ocupação. Ocupações são conjuntos heterogêneos de atividades, e a automação de parte delas reconfigura o conteúdo do trabalho sem necessariamente eliminá-lo. Estimativas de exposição amplamente divulgadas medem viabilidade técnica, e não adoção efetiva nem efeito sobre emprego, e sua leitura como projeção de perda de postos constitui erro que a própria literatura documenta.

A segunda é que a distância entre potencial técnico e resultado observado é determinada por custo de implementação, escala de operação, preço relativo do trabalho, disponibilidade de competências complementares e arranjos institucionais de negociação. Nenhum desses fatores é propriedade da

tecnologia, e todos são passíveis de influência por decisão política e organizacional. A afirmação de que determinado resultado é inevitável oculta as escolhas que o produzem.

A terceira é que os custos da transformação recaem desigualmente, e que a distribuição desses custos depende da existência de mecanismos de antecipação, formação, sustentação de renda e proteção social. Programas de requalificação desacompanhados de condições materiais que os viabilizem e de disponibilidade efetiva de postos compatíveis transferem a responsabilidade pela adaptação a quem dispõe de menos recursos para exercê-la, sem alterar o resultado agregado.

Os limites do que foi feito devem ser declarados. Por tratar-se de ensaio teórico de base narrativa, ele não estabelece a robustez agregada da evidência disponível, não examina setores ou ocupações concretas e supõe um recorte que outro pesquisador poderia contestar. Nenhum valor quantitativo sobre exposição ocupacional, adoção ou efeito sobre emprego foi reproduzido, e nenhuma previsão sobre o desaparecimento de ocupações específicas foi formulada, opções que preservam a integridade factual ao custo de reduzir a especificidade empírica. As controvérsias sobre magnitude da exposição e sobre efeito líquido no emprego foram apresentadas como controvérsias, sem resolução que a literatura não sustenta. Os diplomas normativos foram referenciados quanto ao seu objeto, sem reprodução de dispositivos, e o capítulo não afirma a existência de entendimento consolidado sobre a qualificação jurídica do trabalho mediado por plataformas. O quadro apresentado constitui esquema expositivo, e não instrumento de diagnóstico.

Três frentes de investigação parecem promissoras. A primeira é a análise por tarefas do conteúdo ocupacional no mercado de trabalho brasileiro, dado que as bases de dados que sustentam esse tipo de análise em economias avançadas têm equivalentes limitados no contexto nacional. A segunda é a investigação empírica sobre decisões organizacionais de automação, examinando os fatores que efetivamente determinam a introdução tecnológica e a forma do ajuste no emprego. A terceira é o exame de arranjos de representação e negociação coletiva adequados a formas de trabalho dispersas e mediadas por plataformas, área em que a produção normativa e a prática institucional ainda estão sendo construídas.

Formulado sem rodeios, o argumento é o seguinte: a automação não decide quem trabalha, em que condições e por qual remuneração. Ela altera o que é tecnicamente possível, e essa alteração é substantiva. A conversão da possibilidade técnica em configuração social específica passa por decisões de investimento, desenho organizacional, negociação coletiva, política de formação e arquitetura de proteção social. Atribuir o resultado à tecnologia é, sob esse aspecto, uma forma de não examinar quem o decidiu.

REFERÊNCIAS

ABÍLIO, Ludmila Costhek. Uberização: do empreendedorismo para o autogerenciamento subordinado. *Psicoperspectivas*, v. 18, n. 3, 2019.

ACEMOGLU, Daron; RESTREPO, Pascual. Automation and new tasks: how technology displaces and reinstates labor. **Journal of Economic Perspectives**, v. 33, n. 2, p. 3-30, 2019.

ACEMOGLU, Daron; RESTREPO, Pascual. Robots and jobs: evidence from US labor markets. **Journal of Political Economy**, v. 128, n. 6, p. 2188-2244, 2020.

ANTUNES, Ricardo. **O privilégio da servidão**: o novo proletariado de serviços na era digital. São Paulo: Boitempo, 2018.

ARNTZ, Melanie; GREGORY, Terry; ZIERAHN, Ulrich. **The risk of automation for jobs in OECD countries**: a comparative analysis. Paris: OCDE, 2016. (OECD Social, Employment and Migration Working Papers, n. 189).

AUTOR, David H. Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. **Journal of Economic Perspectives**, v. 29, n. 3, p. 3-30, 2015.

AUTOR, David H.; LEVY, Frank; MURNANE, Richard J. The skill content of recent technological change: an empirical exploration. **Quarterly Journal of Economics**, v. 118, n. 4, p. 1279-1333, 2003.

BESSEN, James. **Learning by doing**: the real connection between innovation, wages, and wealth. New Haven: Yale University Press, 2015.

BRASIL. **Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943**. Aprova a Consolidação das Leis do Trabalho. Rio de Janeiro: Presidência da República, 1943.

BRASIL. **Lei nº 8.213, de 24 de julho de 1991**. Dispõe sobre os Planos de Benefícios da Previdência Social. Brasília, DF: Presidência da República, 1991.

BRASIL. **Lei nº 13.467, de 13 de julho de 2017**. Altera a Consolidação das Leis do Trabalho e outras leis, a fim de adequar a legislação às novas relações de trabalho. Brasília, DF: Presidência da República, 2017.

BRASIL. **Lei nº 14.442, de 2 de setembro de 2022**. Dispõe sobre o pagamento de auxílio-alimentação e altera a Consolidação das Leis do Trabalho quanto ao teletrabalho. Brasília, DF: Presidência da República, 2022.

BRYNJOLFSSON, Erik; MITCHELL, Tom. What can machine learning do? Workforce implications. **Science**, v. 358, n. 6370, p. 1530-1534, 2017.

BRYNJOLFSSON, Erik; MITCHELL, Tom; ROCK, Daniel. What can machines learn and what does it mean for occupations and the economy? **AEA Papers and Proceedings**, v. 108, p. 43-47, 2018.

BRAVERMAN, Harry. **Labor and monopoly capital**: the degradation of work in the twentieth century. New York: Monthly Review Press, 1974.

FREIRES, Ártaga Paulino et al. Aprendizagem ao longo da vida no contexto contemporâneo: paradigmas, potencialidades, tensões e implicações para a educação. **Veredas do Direito**, Belo Horizonte, v. 23, n. 6, e235870, 2026. DOI: <https://doi.org/10.18623/rvd.v23.5870>. Acesso em: 17 ago. 2026.

- FREY, Carl Benedikt; OSBORNE, Michael A. The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation? **Technological Forecasting and Social Change**, v. 114, p. 254-280, 2017.
- GOOS, Maarten; MANNING, Alan; SALOMONS, Anna. Explaining job polarization: routine-biased technological change and offshoring. **American Economic Review**, v. 104, n. 8, p. 2509-2526, 2014.
- KELLOGG, Katherine C.; VALENTINE, Melissa A.; CHRISTIN, Angèle. Algorithms at work: the new contested terrain of control. **Academy of Management Annals**, v. 14, n. 1, p. 366-410, 2020.
- MIRANDA, Rodrigo Oliveira et al. Inteligência artificial e o futuro das profissões: entre a substituição funcional e a reconfiguração estrutural do trabalho. **Aposta: Revista de Ciencias Sociales**, [S. l.], v. 24, n. 110, e676, 2026. DOI: <https://doi.org/10.23900/ra.v24i110.676>. Acesso em: 17 ago. 2026.
- MOKYR, Joel; VICKERS, Chris; ZIEBARTH, Nicolas L. The history of technological anxiety and the future of economic growth: is this time different? **Journal of Economic Perspectives**, v. 29, n. 3, p. 31-50, 2015.
- NEDELKOSKA, Ljubica; QUINTINI, Glenda. **Automation, skills use and training**. Paris: OCDE, 2018. (OECD Social, Employment and Migration Working Papers, n. 202).
- ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO (OIT). **Declaração do Centenário da OIT para o Futuro do Trabalho**. Genebra: OIT, 2019.
- ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO (OIT). **World employment and social outlook 2021: the role of digital labour platforms in transforming the world of work**. Genebra: OIT, 2021.
- POLANYI, Michael. **The tacit dimension**. New York: Doubleday, 1966.
- ROSENBLAT, Alex; STARK, Luke. Algorithmic labor and information asymmetries: a case study of Uber's drivers. **International Journal of Communication**, v. 10, p. 3758-3784, 2016.
- STANDING, Guy. **The precariat: the new dangerous class**. London: Bloomsbury, 2011.
- SUPIOT, Alain. **Beyond employment: changes in work and the future of labour law in Europe**. Oxford: Oxford University Press, 2001.
- SUSSKIND, Daniel. **A world without work: technology, automation, and how we should respond**. New York: Metropolitan Books, 2020.
- WOOD, Alex J. et al. Good gig, bad gig: autonomy and algorithmic control in the global gig economy. **Work, Employment and Society**, v. 33, n. 1, p. 56-75, 2019.

CAPÍTULO 10

CONSTRUIR UM FUTURO INCLUSIVO: ÉTICA, GOVERNANÇA E COOPERAÇÃO MULTIDISCIPLINAR

BUILDING AN INCLUSIVE FUTURE: ETHICS, GOVERNANCE AND MULTIDISCIPLINARY COOPERATION

 <https://doi.org/10.63330/livroautoral912026-010>

Jaques José da Silva Souza

Doutorando em Agroecologia e Desenvolvimento Territorial (PPGADT/UNEB), Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Juazeiro, Bahia, Brasil.

E-mail: jaques.souza@hotmail.com

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/9213866132566631>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2800-6916>

Janeth Reis de Azevedo

Administração na UNITINS - Universidade Estadual do Tocantins

E-mail: janethreis@uft.edu.br

Eliana Marques Gomes da Silva

Mestra em Ensino e Ciências da Saúde pelo CEDESS–UNIFESP. Docente da Escola Superior de Ciências da Saúde – ESA da Universidade do Estado do Amazonas – UEA e Coordenadora do Núcleo de inclusão para pessoas com Necessidades Específicas –NIPNE – ESA.

E-mail: elianamg@uea.edu.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1788461345500828>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0832-4918>

Mayara Simões de Carvalho

Mestre em Artes – UFES. Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: mbarbieri438@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8712-5361>

Maria Gabriela Barcelos Iensen

Bacharel em Educação Física pela UFSM. Pós em personal Treine Prescrição do treinamento personalizado para a estética, grupo especiais e recuperação de lesões – CBEFIS

E-mail: barcelosmariagabriela@gmail.com

Resumo

Este capítulo analisa os princípios, mecanismos de governança e formas de cooperação necessários para orientar a inovação de maneira democrática, sustentável e socialmente responsável. O problema investigado decorre de uma constatação recorrente na literatura sobre ética aplicada a tecnologias emergentes: a proliferação de declarações de princípios não tem correspondido a alteração verificável de práticas, e a convergência aparente entre documentos de diferentes origens dissolve-se quando se examina como cada princípio é interpretado e o que sua observância exigiria em situações concretas. A pergunta norteadora indaga quais critérios devem orientar decisões sobre tecnologias, políticas e modelos de desenvolvimento que afetam toda a sociedade. A abordagem é qualitativa e o texto toma a forma de ensaio teórico, apoiado

em revisão narrativa crítica de literatura filosófica, sociológica, documental e normativa sobre ética aplicada, governança de tecnologias, participação social e teorias da justiça. O argumento central sustenta que um futuro inclusivo exige governança antecipatória, participação social, transparência, responsabilização, cooperação interdisciplinar e avaliação distributiva dos benefícios e riscos das transformações. A discussão percorre os limites das declarações de princípios, a extensão da responsabilidade a efeitos distantes no tempo, o dilema do controle sobre tecnologias emergentes, o desenho da participação, a distinção funcional entre transparência e responsabilização, os critérios de justiça distributiva aplicáveis à avaliação de impactos, as condições da cooperação interdisciplinar e a proteção de grupos com menor capacidade de fazer valer seus interesses. Conclui-se que a orientação ética da inovação depende de arranjos procedimentais verificáveis, e não da adesão declarada a valores.

Palavras-chave: Governança antecipatória; Ética aplicada à inovação; Participação social; Responsabilização institucional; Justiça distributiva.

Abstract

This chapter analyses the principles, governance mechanisms and forms of cooperation required to steer innovation in a democratic, sustainable and socially responsible direction. The problem addressed follows from a recurring finding in the literature on ethics applied to emerging technologies: the proliferation of statements of principle has not corresponded to verifiable changes in practice, and the apparent convergence among documents of different origins dissolves once one examines how each principle is interpreted and what its observance would require in concrete situations. The guiding question asks which criteria should govern decisions about technologies, policies and development models affecting society as a whole. The approach is qualitative and the text takes the form of a theoretical essay, grounded in a critical narrative review of philosophical, sociological, documentary and normative literature on applied ethics, technology governance, public participation and theories of justice. The central argument holds that an inclusive future requires anticipatory governance, public participation, transparency, accountability, interdisciplinary cooperation and distributive assessment of the benefits and risks of transformation. The discussion covers the limits of principle statements, the extension of responsibility to temporally distant effects, the control dilemma for emerging technologies, the design of participation, the functional distinction between transparency and accountability, criteria of distributive justice in impact assessment, the conditions of interdisciplinary cooperation, and the protection of groups with limited capacity to assert their interests. It concludes that the ethical steering of innovation depends on verifiable procedural arrangements rather than on declared adherence to values.

Keywords: Anticipatory governance; Ethics of innovation; Public participation; Institutional accountability; Distributive justice.

1 INTRODUÇÃO

A produção de documentos que enunciam princípios éticos para o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias tornou-se, ao longo da última década, atividade intensa. Governos, organismos internacionais, empresas, associações profissionais e organizações da sociedade civil publicaram conjuntos de diretrizes que enunciam compromissos com transparência, justiça, autonomia, não maleficência, responsabilidade e sustentabilidade. O volume dessa produção sugeriria consenso amplo sobre os valores que devem orientar a inovação.

O exame comparativo desses documentos oferece quadro mais complexo. A convergência é substancial no nível dos termos empregados e substancialmente menor no nível do que cada termo designa. Transparência pode significar publicação de código-fonte, divulgação de critérios decisórios, informação ao usuário sobre o uso de sistemas automatizados ou possibilidade de auditoria por terceiro independente, exigências cujos custos e cujas implicações diferem consideravelmente. Justiça pode designar tratamento idêntico, igualdade de resultado entre grupos, calibração equivalente ou correção de desigualdade preexistente, critérios que se mostram mutuamente incompatíveis em situações práticas.

Essa observação identifica o problema central deste capítulo. Enunciar princípios é operação de custo reduzido, uma vez que o compromisso permanece indeterminado até que se especifique o que sua observância exige. Operacionalizá-los é operação custosa, porque exige escolher entre interpretações concorrentes, aceitar restrições sobre decisões que se pretenderia livres e submeter-se a verificação externa. A distância entre esses dois níveis explica por que a proliferação de declarações não tem correspondido a alteração verificável de práticas.

Há um segundo elemento, de natureza distinta. Decisões sobre tecnologias e modelos de desenvolvimento produzem efeitos sobre pessoas que não participaram delas, incluindo pessoas de outros territórios e de gerações futuras. As instituições que legitimam decisões coletivas foram construídas para comunidades políticas delimitadas no espaço e no tempo, e sua aplicação a decisões cujas consequências transbordam essas delimitações apresenta dificuldade que não é apenas prática, mas conceitual: quem tem legitimidade para decidir por quem não pode participar.

É nessa articulação, entre indeterminação dos princípios e insuficiência dos arranjos de legitimação, que se coloca o problema tratado neste capítulo. A hipótese que orienta a análise é que a orientação ética da inovação depende menos da formulação de valores adequados, sobre os quais há concordância razoável, do que do desenho de procedimentos que tornem sua observância verificável e sua violação custosa.

A pergunta norteadora é, portanto: **quais critérios devem orientar decisões sobre tecnologias, políticas e modelos de desenvolvimento que afetam toda a sociedade?** O objetivo é analisar os princípios, mecanismos de governança e formas de cooperação necessários para orientar a inovação de maneira democrática, sustentável e socialmente responsável.

Sustenta-se que um futuro inclusivo exige governança antecipatória, participação social, transparência, responsabilização, cooperação interdisciplinar e avaliação distributiva dos benefícios e riscos das transformações. Cada um desses elementos é examinado quanto às condições que o tornam efetivo, e não apenas quanto à sua desejabilidade, que não é objeto de controvérsia relevante.

A relevância dessa discussão decorre de sua natureza transversal. Decisões sobre que tecnologias desenvolver, com que recursos, sob que regras e em benefício de quem são tomadas cotidianamente por atores dispersos, frequentemente sem que sua dimensão coletiva seja reconhecida. Investigadores definem agendas de pesquisa. Empresas alocam capital. Órgãos públicos estabelecem prioridades e regulam. Instituições formadoras determinam que competências serão disponíveis. Comunidades aceitam ou resistem a intervenções em seus territórios. A soma dessas decisões produz uma trajetória que ninguém escolheu deliberadamente e pela qual ninguém responde integralmente.

Cabe registrar que este capítulo não pretende oferecer critério único aplicável a toda decisão, tarefa cuja viabilidade a própria natureza do problema desmente. Pretende identificar as questões que precisam ser respondidas, as tensões que não admitem resolução técnica e os arranjos que tornam essas tensões objeto de deliberação em vez de resultado de omissão.

O restante do texto está assim ordenado. Depois do percurso metodológico, a fundamentação teórica examina os limites das declarações de princípios, a extensão temporal da responsabilidade, o dilema do controle, o desenho da participação, a distinção entre transparência e responsabilização, os critérios de justiça distributiva, as condições da cooperação interdisciplinar e a proteção de grupos com menor capacidade de fazer valer seus interesses. A quarta seção discute possibilidades de aplicação. A quinta trata dos obstáculos e do que sua superação demanda. Ao final, a pergunta inicial é retomada e o alcance da análise, delimitado.

2 PERCURSO METODOLÓGICO

A abordagem é qualitativa e o texto assume a forma de ensaio teórico, construído sobre revisão narrativa crítica de literatura filosófica, sociológica, documental e normativa. Não se seguiram os protocolos de revisão sistemática, de escopo ou integrativa. Tampouco se trata de análise de conteúdo de documentos de diretrizes éticas, que exigiria corpus definido e procedimento de codificação documentado.

Quatro conjuntos de fontes compõem a base do argumento. O primeiro reúne a filosofia moral e política contemporânea, particularmente as contribuições sobre justiça distributiva, responsabilidade e

legitimidade de decisões coletivas. O segundo compreende os estudos sociais da ciência e da tecnologia, que fornecem o referencial sobre avaliação social de tecnologias, participação pública e produção de conhecimento em condições de incerteza. O terceiro abrange a literatura sobre governança, responsabilização institucional e desenho de participação. O quarto agrega documentos internacionais de referência sobre ética de tecnologias, direitos humanos e desenvolvimento sustentável, além de legislação brasileira relativa a cooperação entre instituições de pesquisa, empresas e poder público.

A seleção pautou-se pela pertinência ao problema formulado, a autoridade reconhecida das fontes em seus campos, a atualidade quando o tema exigia informação contemporânea e a aderência ao objetivo do capítulo. Foram deliberadamente incorporadas posições divergentes sobre critérios de justiça e sobre a eficácia de mecanismos participativos, dado que a literatura apresenta controvérsia genuína sobre esses pontos, cuja resolução não decorre de evidência empírica e depende de compromissos normativos que este capítulo não pretende arbitrar.

Quatro restrições precisam ficar claras. A primeira é a ausência de valores quantitativos sobre número de documentos de diretrizes, participação em processos consultivos ou indicadores de desigualdade, cuja utilização responsável exigiria conferência em fontes atualizadas com explicitação do período de referência. A segunda é que os instrumentos internacionais e os diplomas normativos foram referenciados quanto ao seu objeto e à sua função, sem reprodução de dispositivos ou princípios neles enunciados. A terceira é que as observações sobre práticas institucionais derivam da literatura consultada e não de verificação direta. A quarta é que as posições normativas discutidas são apresentadas como posições sustentadas por seus autores, e não como conclusões demonstradas, distinção necessária em um capítulo cujo objeto é predominantemente normativo. As proposições valem como interpretação e admitem refutação.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E DISCUSSÃO CRÍTICA

3.1 POR QUE DECLARAÇÕES DE PRINCÍPIOS NÃO BASTAM

O mapeamento comparativo de diretrizes éticas para inteligência artificial produzidas por atores de origens diversas identificou convergência substancial em torno de um pequeno conjunto de princípios recorrentes, entre os quais transparência, justiça, não maleficência, responsabilidade e privacidade, e simultaneamente divergência significativa quanto à interpretação de cada princípio, à sua importância relativa, ao domínio de aplicação e aos meios de implementação (JOBIN; IENCA; VAYENA, 2019). A convergência terminológica ocultava, portanto, dissenso substantivo.

A análise sobre as razões da limitada eficácia dessa produção identificou fatores estruturais. Diretrizes éticas carecem, tipicamente, de objetivos comuns claramente definidos, de mecanismos de responsabilização por descumprimento, de métodos consolidados de tradução de princípios abstratos em

decisões concretas e de estruturas profissionais análogas às que sustentam a ética em campos onde ela produz efeito verificável, como a prática médica, que dispõe de formação específica, órgãos de fiscalização e consequências disciplinares (MITTELSTADT, 2019). A implicação é que a analogia com a bioética, frequentemente invocada, é enganosa: a bioética funciona não por sua superioridade conceitual, mas por estar inserida em arranjo institucional que a torna exigível.

Contribuição que buscou sistematizar os princípios propôs a articulação dos quatro princípios clássicos da bioética com um quinto, relativo à explicabilidade, entendida como inteligibilidade combinada com responsabilização, sob o argumento de que a compreensão do funcionamento é condição para a atribuição de responsabilidade (FLORIDI; COWLS, 2019). A proposta é objeto de debate quanto à suficiência dessa transposição, dado que decisões sobre tecnologias afetam populações inteiras e não indivíduos em relação assistencial, o que altera a estrutura do problema moral.

No plano dos instrumentos internacionais, recomendação de organismo multilateral sobre ética da inteligência artificial estabeleceu valores, princípios e áreas de ação política dirigidas aos Estados, com previsão de mecanismos de acompanhamento (UNESCO, 2021). Sua natureza é de recomendação, e não de norma vinculante, distinção relevante para compreender seu alcance. Instrumento anterior de referência sobre a relação entre atividade empresarial e direitos humanos estabeleceu estrutura articulada em torno do dever estatal de proteger, da responsabilidade empresarial de respeitar e do acesso a mecanismos de reparação, oferecendo modelo de atribuição de responsabilidades que a discussão sobre tecnologias tem retomado (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2011).

A conclusão que essa literatura sustenta é analiticamente relevante para o conjunto deste capítulo: a questão prática não é qual princípio adotar, mas que procedimento torna sua observância verificável e sua violação custosa.

3.2 RESPONSABILIDADE DIANTE DE EFEITOS DISTANTES NO TEMPO

A ética filosófica ocidental construiu suas categorias predominantemente para relações entre contemporâneos, próximos no espaço e identificáveis. Decisões cujos efeitos se manifestam em escalas temporais longas e sobre pessoas ainda não existentes escapam parcialmente a essas categorias.

A formulação que enfrentou explicitamente esse problema propôs que o poder tecnológico moderno, por sua magnitude e alcance temporal, exige uma ética cujo imperativo se dirija à preservação das condições de existência de vida humana futura, com atenção prioritária aos prognósticos adversos sobre os favoráveis quando o que está em causa é irreversível (JONAS, 2006). A proposta é objeto de controvérsia, particularmente quanto ao risco de que a prioridade conferida ao prognóstico adverso produza paralisia diante de qualquer inovação, mas sua contribuição analítica permanece: ela desloca o eixo da responsabilidade da intenção do agente para a magnitude do efeito possível.

Duas implicações práticas merecem registro. A primeira é a assimetria entre reversível e irreversível. Decisões cujas consequências podem ser desfeitas admitem correção posterior e, portanto, maior tolerância a erro; decisões cujos efeitos são irreversíveis exigem cautela proporcionalmente maior, mesmo quando a probabilidade do efeito adverso é baixa. Essa assimetria fundamenta a exigência de avaliação prévia mais rigorosa em determinadas classes de decisão.

A segunda é a distribuição intertemporal. Benefícios de decisões sobre desenvolvimento tendem a se concentrar no presente, ao passo que custos ambientais e sociais podem se manifestar com defasagem considerável. Instrumentos de avaliação econômica que aplicam taxas de desconto elevadas a efeitos futuros incorporam, implicitamente, um juízo sobre o peso relativo das gerações, juízo que raramente é apresentado como tal. Explicitá-lo é condição para que seja objeto de deliberação.

3.3 GOVERNANÇA ANTECIPATÓRIA E O DILEMA DO CONTROLE

A dificuldade temporal na governança de tecnologias emergentes foi formulada como dilema: nos estágios iniciais de desenvolvimento, quando a intervenção seria viável, os efeitos são pouco conhecidos; quando os efeitos se tornam evidentes, a tecnologia já se encontra entranhada em práticas, investimentos e infraestruturas, tornando sua modificação custosa e politicamente difícil (COLLINGRIDGE, 1980). O dilema não admite solução completa, e sua formulação delimita o que uma governança realista pode pretender.

A proposta de governança antecipatória responde a essa limitação ao propor a construção de capacidade social de refletir sobre futuros possíveis antes que as trajetórias se consolidem, articulando previsão, engajamento público e integração entre pesquisa em ciências naturais e em ciências sociais e humanas ao longo do processo de desenvolvimento, e não apenas em sua avaliação posterior (GUSTON, 2014). A ênfase recai sobre a capacidade e não sobre a predição: antecipar não significa acertar sobre o futuro, mas ampliar o repertório de trajetórias consideradas e preservar a possibilidade de correção.

O referencial de inovação responsável operacionaliza parcialmente essa orientação ao propor quatro dimensões articuladas: antecipação sistemática de consequências possíveis, reflexividade sobre pressupostos e limitações do próprio processo, inclusão de perspectivas de atores afetados e responsividade, entendida como capacidade de modificar a trajetória em função do que se aprende (STILGOE; OWEN; MACNAGHTEN, 2013). A quarta dimensão é a mais exigente e a mais frequentemente ausente: processos que antecipam, refletem e incluem sem alterar a trajetória em função dos resultados produzem legitimação sem governança.

Duas condições de efetividade merecem registro. A primeira é temporal: a antecipação precisa ocorrer enquanto a trajetória ainda é maleável, o que exige que os processos participativos e reflexivos sejam acionados em estágio inicial e não após decisões de investimento consolidadas. A segunda é

institucional: a capacidade de modificar a trajetória depende de que exista instância com competência e recursos para fazê-lo, condição que projetos de pesquisa e programas de inovação frequentemente não satisfazem.

3.4 PARTICIPAÇÃO: ABERTURA, FECHAMENTO E DESENHO

A participação social em decisões sobre tecnologias e políticas públicas é objeto de consenso declarado e de prática desigual. A análise que sistematizou essa questão distinguiu entre processos que ampliam o espaço de alternativas consideradas, tornando visíveis as escolhas, incertezas e valores em disputa, e processos que estreitam esse espaço, produzindo recomendação única e conferindo-lhe autoridade, argumentando que ambos são legítimos em contextos distintos mas que sua confusão produz fechamento prematuro apresentado como resultado técnico (STIRLING, 2008).

Essa distinção é analiticamente produtiva. Consultas realizadas após a definição das alternativas viáveis operam necessariamente em modo de fechamento, ainda que se apresentem como abertura, uma vez que a decisão substantiva sobre o que estava em questão já foi tomada. A abertura genuína exige que a própria formulação do problema seja objeto de participação, condição raramente satisfeita.

A caracterização das variedades de participação em governança complexa propôs que processos participativos sejam avaliados segundo quem participa, como se dá a comunicação e a decisão entre os participantes e como as conclusões se conectam à ação e à política, evidenciando que arranjos com desenhos distintos servem a finalidades distintas e que a escolha entre eles deve seguir o problema a ser resolvido (FUNG, 2006). A implicação prática é que não existe desenho participativo universalmente adequado, e que a adoção mecânica de um formato produz processos inadequados ao problema.

A literatura sobre compreensão pública da ciência acrescentou dimensão relevante ao documentar que resistências a intervenções técnicas frequentemente atribuídas a desconhecimento decorrem, em exame mais atento, de avaliação fundamentada por parte de comunidades afetadas sobre a confiabilidade das instituições envolvidas e sobre a adequação do conhecimento especializado às condições locais (WYNNE, 1992). A implicação é que o conhecimento das comunidades sobre seus próprios contextos constitui informação relevante para a decisão, e não obstáculo a ser superado por comunicação.

A caracterização de situações em que os fatos são incertos, os valores estão em disputa, o que está em jogo é elevado e as decisões são urgentes propôs que, nessas condições, a qualidade do conhecimento não pode ser assegurada apenas por revisão entre pares convencional, exigindo ampliação da comunidade de avaliadores para incluir todos os que possuem interesse legítimo e conhecimento pertinente sobre a questão (FUNTOWICZ; RAVETZ, 1993). A proposição permanece objeto de debate quanto aos seus critérios de aplicação, e sua contribuição consiste em situar a participação como requisito epistêmico e não apenas político.

A perspectiva sobre ciências humanas, sociedade e cidadania sustenta que a formação de sujeitos capazes de participar criticamente das decisões coletivas constitui condição da própria efetividade dos arranjos participativos, articulando a dimensão formativa e a dimensão institucional da participação (SILVA et al., 2026). A observação é pertinente porque desenhos participativos sofisticados aplicados a públicos sem condições de exercer a participação produzem forma sem conteúdo.

3.5 TRANSPARÊNCIA E RESPONSABILIZAÇÃO: FUNÇÕES DISTINTAS

Transparência e responsabilização são frequentemente tratadas como sinônimos, e sua distinção é analiticamente necessária. A conceituação da responsabilização propôs caracterizá-la como relação entre um ator e um fórum, na qual o ator tem obrigação de explicar e justificar sua conduta, o fórum pode formular questões e emitir juízo, e o ator pode enfrentar consequências (BOVENS, 2007). Os três elementos são necessários: obrigação de justificar, capacidade de questionar e possibilidade de consequência.

Sob essa caracterização, transparência é condição necessária e insuficiente. A publicação de informação satisfaz o primeiro elemento sem assegurar os demais. Um fórum sem capacidade técnica de interpretar a informação publicada não pode questionar; um fórum sem poder de impor consequência emite juízo sem efeito. Arranjos que ampliam a publicação de dados sem constituir capacidade de análise e sem prever consequência produzem, portanto, aparência de controle.

Essa análise tem aplicação direta ao debate sobre governança de tecnologias. Exigências de publicação de documentação técnica, relatórios de impacto e descrições de sistemas produzem volume de informação cuja avaliação exige competência especializada. A ausência de instâncias com essa competência converte a exigência em custo de conformidade sem função de controle. A constituição de capacidade de auditoria independente, com acesso técnico e mandato para verificação, constitui condição de efetividade que raramente acompanha as exigências de transparência.

Um segundo problema merece registro. A transparência pode ser instrumentalizada. A divulgação de volume elevado de informação de baixa relevância dificulta a identificação da informação consequente, produzindo opacidade por saturação. A avaliação da transparência de um arranjo deve considerar, portanto, a relevância decisória da informação disponibilizada, e não apenas seu volume.

3.6 JUSTIÇA DISTRIBUTIVA E AVALIAÇÃO DE IMPACTOS

A avaliação de decisões sobre desenvolvimento tecnológico exige critério sobre a distribuição adequada de seus benefícios e custos, e esse critério é objeto de controvérsia filosófica substantiva que não se resolve por evidência.

A formulação contratualista propôs que princípios de justiça sejam identificados a partir de posição em que os participantes desconhecem sua posição social, e sustentou que desigualdades sociais e

econômicas seriam justificáveis apenas quando associadas a posições acessíveis a todos em condições de igualdade equitativa de oportunidades e quando resultassem no maior benefício dos membros menos favorecidos da sociedade (RAWLS, 1971). Aplicada a decisões sobre tecnologias, essa orientação sugere que a avaliação considere prioritariamente o efeito sobre quem está em pior situação, e não o efeito agregado.

A abordagem das capacidades propôs deslocar o foco da distribuição de recursos para a expansão das capacidades efetivas de que as pessoas dispõem para escolher e realizar aquilo que têm razão para valorizar, argumentando que recursos idênticos produzem capacidades distintas conforme as circunstâncias pessoais e sociais (NUSSBAUM, 2011). A crítica ao modelo contratualista formulada nessa tradição argumentou que a busca por instituições perfeitamente justas é menos produtiva do que a comparação entre situações realizáveis quanto à redução de injustiças identificáveis, e que essa comparação admite acordo mesmo entre pessoas com concepções distintas de justiça (SEN, 2009).

A crítica ao paradigma distributivo argumentou que a atenção exclusiva à distribuição de bens obscurece dimensões estruturais da injustiça relacionadas a processos decisórios, divisão do trabalho e reconhecimento cultural, dimensões que não se corrigem por redistribuição (YOUNG, 1990). O desenvolvimento posterior dessa linha propôs que a justiça envolve simultaneamente redistribuição, reconhecimento e representação, sendo esta última a dimensão que define quem conta como sujeito legítimo das duas primeiras (FRASER, 2009).

Essa pluralidade de critérios não impede a avaliação, mas exige que ela seja explícita quanto ao critério adotado. Uma avaliação que reporta ganho agregado adota implicitamente um critério utilitário; uma que examina o efeito sobre o grupo em pior situação adota outro; uma que verifica se os afetados participaram da decisão adota um terceiro. Todas são legítimas e produzem conclusões distintas sobre a mesma decisão. Explicitar o critério é condição para que a divergência seja objeto de deliberação em vez de mal-entendido.

3.7 COOPERAÇÃO INTERDISCIPLINAR E PRODUÇÃO DE CONHECIMENTO

A afirmação de que problemas complexos exigem cooperação entre disciplinas é recorrente e raramente acompanhada do exame das condições que a tornam viável. A caracterização de uma modalidade de produção de conhecimento organizada em torno do contexto de aplicação, transdisciplinar, heterogênea quanto aos participantes e submetida a controle de qualidade que incorpora critérios sociais além dos estritamente disciplinares, propôs que essa modalidade coexiste com a produção disciplinar convencional e responde a demandas que esta não atende (GIBBONS et al., 1994). A caracterização foi objeto de debate quanto à sua novidade histórica e permanece útil para identificar as tensões envolvidas.

A análise das relações entre universidades, empresas e governo propôs que a inovação contemporânea decorre da interação entre essas três esferas, com sobreposição parcial de seus papéis e emergência de organizações híbridas nas interfaces (ETZKOWITZ; LEYDESDORFF, 2000). A abordagem tem sido criticada por atribuir peso reduzido à sociedade civil e às comunidades afetadas, crítica que a discussão sobre inovação socialmente orientada tem procurado incorporar.

Três obstáculos concretos à cooperação interdisciplinar merecem registro, dado que sua omissão converte a recomendação em exortação. O primeiro é epistemológico: disciplinas distintas empregam critérios distintos de evidência, formas distintas de argumentação e vocabulários cujos termos coincidentes designam objetos diferentes, de modo que a comunicação exige trabalho de tradução que consome tempo raramente previsto. O segundo é institucional: sistemas de avaliação acadêmica organizados por área disciplinar tendem a penalizar produção que não se enquadra nas categorias estabelecidas, criando desincentivo para pesquisadores em estágio inicial de carreira. O terceiro é de assimetria: colaborações entre disciplinas com prestígio e financiamento desiguais tendem a reproduzir essa assimetria na definição das perguntas e na atribuição de autoria.

A crítica à hierarquia entre formas de conhecimento acrescenta dimensão relevante ao argumentar que a desqualificação sistemática de saberes produzidos fora dos circuitos científicos hegemônicos empobrece o repertório disponível para enfrentar problemas cuja solução depende de conhecimento sobre contextos específicos (SANTOS, 2014). A proposição é objeto de debate quanto aos critérios de avaliação de validade que ela implica, e sua contribuição para o objeto deste capítulo consiste em situar a inclusão de conhecimentos locais como questão epistêmica e não apenas de representação.

No ordenamento brasileiro, a cooperação entre instituições científicas e tecnológicas, empresas e poder público recebeu disciplina legal específica, com instrumentos voltados ao estímulo à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo, posteriormente ampliados por diploma que estabeleceu medidas de incentivo à ciência, à tecnologia e à inovação (BRASIL, 2004; BRASIL, 2016). A existência desses instrumentos indica que os obstáculos à cooperação não são predominantemente jurídicos.

3.8 GRUPOS VULNERÁVEIS E ASSIMETRIA DE CAPACIDADE DE VOZ

Processos participativos operam sobre uma distribuição preexistente de capacidade de participação. Tempo disponível, escolaridade, domínio do vocabulário técnico, acesso a informação, recursos para deslocamento e experiência prévia em espaços institucionais determinam quem consegue efetivamente influenciar decisões, e essas capacidades distribuem-se de modo correlacionado com a posição social.

A consequência é que arranjos formalmente abertos podem produzir composição substantivamente enviesada. Consultas públicas atraem participantes organizados, com interesse concentrado e capacidade de mobilização; interesses difusos, ainda que envolvam número maior de pessoas, tendem a ser sub-

representados. Esse padrão é conhecido e sua correção exige desenho específico, incluindo seleção deliberada de participantes, apoio material à participação, tradução de conteúdos técnicos e alocação de tempo suficiente para deliberação informada.

A caracterização da democracia como forma de vida associada, que exige a formação de um público capaz de identificar as consequências indiretas das ações coletivas e de organizar-se em torno delas, situa a dificuldade em nível mais profundo: quando as consequências são difusas, distantes ou tecnicamente complexas, a própria constituição do público afetado é problemática (DEWEY, 1927). A formulação sobre as condições de legitimidade de decisões coletivas em sociedades complexas propôs que essa legitimidade depende de procedimentos discursivos que permitam a todos os potencialmente afetados participar em condições de simetria, reconhecendo simultaneamente as dificuldades práticas de realização dessa condição (HABERMAS, 1996).

A proteção de grupos com menor capacidade de fazer valer seus interesses exige, portanto, mecanismos que não dependam exclusivamente de sua mobilização. Órgãos com mandato específico de representação de interesses difusos, exigências de avaliação de impacto desagregada por grupo e possibilidade de contestação posterior por terceiros interessados constituem arranjos que operam quando a participação direta é inviável.

4 POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO, PREPARAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO

4.1 AVALIAÇÃO DE IMPACTO DISTRIBUTIVO

A avaliação convencional de projetos e políticas reporta efeitos agregados, o que é adequado para determinadas finalidades e insuficiente para verificar quem se beneficia e quem absorve custos. A incorporação de avaliação desagregada exige decisões metodológicas explícitas sobre quais grupos considerar, que indicadores utilizar e em que horizonte temporal medir.

Quatro perguntas organizam esse tipo de avaliação. Quem se beneficia primeiro e quem se beneficia por último, considerando que a defasagem temporal na distribuição de benefícios é ela própria efeito distributivo. Quem suporta custos que não figuram na avaliação econômica, incluindo custos ambientais, de deslocamento e de perda de atividade. Que grupos são afetados sem ter participado da decisão. Que mecanismos de reparação existem para quem for prejudicado, e quem os aciona.

A quarta pergunta é a mais frequentemente omitida. Avaliações de impacto identificam efeitos adversos sem que exista via de reparação para quem os suporta, situação em que a avaliação documenta o dano sem preveni-lo nem compensá-lo. A estrutura de referência sobre atividade empresarial e direitos humanos situa o acesso a mecanismos de reparação como componente necessário, ao lado do dever de proteger e da responsabilidade de respeitar (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2011).

4.2 CRITÉRIOS DE DECISÃO SOBRE INOVAÇÕES COM EFEITO SOCIAL AMPLO

O Quadro 1 organiza um conjunto de questões que podem estruturar a deliberação sobre decisões tecnológicas, políticas ou de investimento com efeito social amplo. O quadro é construção analítica elaborada para estruturar a exposição a partir das referências citadas, e não de instrumento validado, escala de avaliação ou exigência normativa.

Quadro 1 – Questões estruturantes para a deliberação sobre inovações de efeito social amplo

Dimensão	Questão central	Indício de tratamento inadequado
Finalidade	Que problema a inovação resolve, e para quem ele é problema?	O problema foi formulado após a solução existir
Alternativas	Que outras respostas ao mesmo problema foram consideradas?	Apenas uma trajetória foi examinada
Distribuição	Quem se beneficia, quem absorve custos e em que prazo?	Somente efeitos agregados foram estimados
Participação	Os afetados influenciaram a formulação, e não apenas a validação?	Consulta realizada após decisões estruturantes
Reversibilidade	O que ocorre se a decisão se revelar equivocada?	Ausência de plano de correção ou de saída
Responsabilização	Quem responde pelos efeitos, perante quem e com que consequência?	Responsabilidade dispersa entre múltiplos agentes
Reparação	Que via existe para quem for prejudicado?	Impacto identificado sem mecanismo de reparação
Capacidade de controle	Existe instância com competência técnica para verificar?	Verificação dependente de informação do próprio agente
Horizonte	Que efeitos se manifestam após o prazo de avaliação adotado?	Avaliação limitada ao ciclo de investimento

Fonte: elaboração do autor com base nas referências citadas.

A utilidade dessas questões não reside em produzir uma classificação, mas em tornar explícitas decisões que frequentemente permanecem implícitas e que se tornam irreversíveis quando a trajetória se consolida. Sua aplicação em estágio inicial é substancialmente mais eficaz do que após a implementação, pela razão que o dilema do controle estabelece.

4.3 CAPACIDADE INSTITUCIONAL COMO CONDIÇÃO DE GOVERNANÇA

As exigências discutidas neste capítulo pressupõem instituições capazes de formulá-las, verificá-las e aplicá-las. Essa capacidade não é dada e sua construção constitui, ela própria, objeto de política.

Três elementos compõem essa capacidade. O primeiro é técnico: órgãos com competência para avaliar independentemente propostas, sistemas e resultados, sem depender integralmente de informação fornecida pelos entes que supervisionam. O segundo é temporal: continuidade suficiente para acompanhar processos cujos efeitos se manifestam além dos ciclos administrativos, o que exige quadros estáveis e mandatos protegidos de descontinuidade. O terceiro é de legitimidade: reconhecimento social que sustente decisões impopulares quando fundamentadas, condição que depende de histórico de atuação transparente e de comunicação compreensível.

A discussão sobre estruturas institucionais, regulatórias e políticas em processos de transição sustenta que a efetividade da governança depende da articulação entre esses três elementos, e que arranjos formalmente adequados sem capacidade técnica correspondente produzem regulação declaratória (PAIXÃO, 2026). A observação é aplicável para além do setor examinado por aquele trabalho: a distância entre a norma e sua efetividade é, com frequência, distância de capacidade institucional.

A perspectiva sobre orientação de políticas por missões propõe que o Estado assuma papel de definição de objetivos sociais amplos, coordenando atores diversos em torno de desafios definidos, com atenção explícita à distribuição dos retornos dos investimentos públicos realizados (MAZZUCATO, 2021). A abordagem é objeto de controvérsia acadêmica quanto à sua viabilidade institucional e aos riscos de captura, e sua menção aqui serve para indicar que a orientação da inovação por finalidades públicas constitui posição sustentada na literatura, e não consenso.

A análise sobre governança de sistemas complexos argumenta que arranjos policêntricos, com múltiplos centros de decisão parcialmente autônomos e mecanismos de coordenação entre eles, apresentam desempenho superior a arranjos integralmente centralizados ou integralmente descentralizados em problemas que envolvem escalas múltiplas, dado que combinam adaptação a condições locais e capacidade de coordenação em escala ampliada (OSTROM, 2010).

4.4 FORMAÇÃO PARA CONTEXTOS COMPLEXOS

A formação de profissionais capazes de atuar em contextos que exigem articulação entre dimensões técnicas, éticas e políticas constitui condição frequentemente mencionada e raramente operacionalizada. Três competências merecem registro.

A primeira é a capacidade de identificar, em problemas apresentados como técnicos, as escolhas normativas neles contidas. A definição de uma métrica de desempenho, a escolha de uma taxa de desconto, a delimitação da fronteira de um sistema em avaliação ambiental e a seleção de uma variável de referência em um modelo preditivo são decisões valorativas apresentadas em vocabulário técnico. Reconhecê-las como tais é condição para submetê-las a deliberação.

A segunda é a capacidade de trabalhar com incerteza sem convertê-la artificialmente em precisão. Isso inclui comunicar limites do conhecimento disponível, distinguir o que se sabe do que se supõe e resistir à pressão institucional por respostas mais definitivas do que a evidência sustenta.

A terceira é a capacidade de comunicação com públicos não especializados, entendida não como simplificação, mas como tradução que preserve as qualificações relevantes. A observação sobre a natureza fundamentada de resistências públicas a intervenções técnicas indica que essa comunicação precisa ser bidirecional, incorporando o conhecimento das comunidades sobre seus contextos (WYNNE, 1992).

A dimensão formativa articula-se, assim, à dimensão institucional: arranjos participativos e de responsabilização dependem de pessoas capazes de operá-los, e sua formação constitui investimento cujo retorno se manifesta em prazo que excede os ciclos usuais de avaliação (SILVA et al., 2026).

5 DESAFIOS, RISCOS, LIMITES E CONDIÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO

O primeiro desafio é o custo político das exigências discutidas. Ampliar transparência, incluir afetados na formulação de decisões, submeter escolhas a avaliação distributiva e constituir instâncias de verificação independente altera distribuições de poder existentes. A resistência a essas medidas não decorre de incompreensão técnica, mas de conflito de interesses legítimo em sociedade plural, e tratá-las como recomendações gerenciais cuja adoção dependeria de convencimento subestima a natureza política do problema.

O segundo é o risco de uso simbólico dos próprios instrumentos. Comitês de ética sem poder decisório, consultas cujos resultados não vinculam, relatórios de impacto elaborados por quem tem interesse no resultado e códigos de conduta sem consequência por descumprimento produzem legitimação sem controle. A distinção entre uso substantivo e uso simbólico não é observável a partir da existência do instrumento, exigindo verificação de seus efeitos sobre decisões concretas.

O terceiro é a assimetria de capacidade entre atores. Organizações com recursos técnicos e jurídicos participam de processos regulatórios com vantagem substancial sobre organizações da sociedade civil e comunidades afetadas. Arranjos que ampliam a participação sem corrigir essa assimetria podem produzir legitimação de resultados que refletem a distribuição preexistente de capacidade.

O quarto é a tensão entre celeridade e deliberação. Deliberação ampla consome tempo, e há situações em que a demora produz custos reais. A resolução dessa tensão não é geral: depende da reversibilidade dos efeitos, da magnitude do que está em jogo e da qualidade da informação disponível. O que a análise sustenta é que a alegação de urgência deve ser fundamentada, e não invocada como razão suficiente para dispensar deliberação.

O quinto é a dificuldade de coordenação internacional. Decisões sobre tecnologias com efeitos transfronteiriços exigem coordenação entre jurisdições com interesses, capacidades e concepções distintas.

Arranjos que dependem de consenso entre muitos atores tendem à lentidão e ao denominador comum mínimo; arranjos que prescindem de consenso enfrentam problemas de legitimidade e de aplicação.

O sexto diz respeito ao risco de paralisia. A exigência de avaliação prévia extensiva pode, se aplicada indiscriminadamente, inviabilizar inovações socialmente valiosas e favorecer agentes com capacidade de absorver custos de conformidade. A proporcionalidade entre a exigência e a consequência potencial da decisão constitui, por isso, requisito de desenho, e sua ausência produz efeitos contrários aos pretendidos.

Uma limitação analítica merece registro. Este capítulo discute critérios e arranjos sem examinar sua aplicação em situações concretas. A verificação de quais mecanismos efetivamente alteram decisões, em que contextos e sob que condições, constitui investigação empírica distinta, cuja ausência limita o alcance das proposições formuladas. A literatura disponível sobre efetividade de instrumentos participativos e de responsabilização é comparativamente escassa em relação à literatura normativa sobre sua desejabilidade.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo partiu da pergunta sobre quais critérios devem orientar decisões sobre tecnologias, políticas e modelos de desenvolvimento que afetam toda a sociedade. A análise desenvolvida sustenta que a dificuldade central não reside na identificação de valores adequados, sobre os quais há concordância razoável em nível abstrato, mas na construção de arranjos que tornem sua observância verificável e sua violação custosa.

Três proposições articulam o que foi desenvolvido. A primeira é que declarações de princípios, isoladamente, não produzem alteração de prática. A convergência terminológica entre documentos de origens diversas oculta divergência substantiva sobre a interpretação de cada princípio, e a ausência de mecanismos de responsabilização por descumprimento converte o compromisso em manifestação de intenção. A analogia frequentemente invocada com campos onde a ética aplicada produz efeito verificável ignora que essa eficácia decorre do arranjo institucional que a sustenta, e não da formulação dos princípios.

A segunda é que transparência e responsabilização cumprem funções distintas e que a primeira não substitui a segunda. Responsabilização exige, além da obrigação de justificar, a existência de instância com capacidade de questionar e de poder para impor consequência. Arranjos que ampliam a publicação de informação sem constituir capacidade de análise e sem prever consequência produzem custo de conformidade sem função de controle, e podem produzir opacidade por saturação quando o volume divulgado dificulta a identificação do que é decisório.

A terceira é que a avaliação distributiva exige explicitação do critério de justiça adotado. Reportar ganho agregado, examinar o efeito sobre quem está em pior situação e verificar se os afetados participaram da decisão constituem avaliações legítimas que produzem conclusões distintas sobre a mesma decisão. A

ausência de explicitação transforma divergência normativa legítima em mal-entendido, e frequentemente permite que o critério mais favorável ao proponente seja adotado sem discussão.

Convém explicitar o que a análise deixa de fora. Como ensaio de base narrativa, o texto não estabelece a robustez agregada da literatura disponível, não examina processos decisórios concretos e assenta em um recorte entre vários defensáveis. As posições normativas discutidas foram apresentadas como posições sustentadas por seus autores, e as controvérsias entre critérios de justiça foram mantidas como controvérsias, sem arbitragem que a análise não autoriza. Nenhum valor quantitativo foi incorporado, e os instrumentos internacionais e diplomas normativos foram referenciados quanto ao seu objeto, sem reprodução de dispositivos. O quadro apresentado constitui esquema de organização da deliberação, e não instrumento de avaliação validado.

A análise sugere três direções de pesquisa. A primeira é a avaliação empírica da efetividade de instrumentos participativos, distinguindo os processos que alteraram decisões verificáveis daqueles cuja influência permanece indeterminada, área em que a literatura normativa excede largamente a literatura de avaliação. A segunda é o exame comparado de arranjos de auditoria independente de sistemas técnicos, com atenção às condições institucionais que asseguram simultaneamente competência e independência. A terceira é a investigação sobre desenhos de participação capazes de incorporar interesses difusos e de gerações futuras, dimensão para a qual os mecanismos de representação convencionais oferecem resposta reconhecidamente incompleta.

Em uma formulação direta, a ética da inovação não se realiza pela adesão a valores, mas pelo desenho de procedimentos. Concordar que a tecnologia deve servir ao interesse coletivo é operação de custo nulo e efeito equivalente. Estabelecer quem decide, com que informação, sob que critério explícito, respondendo perante quem e com que possibilidade de correção é operação custosa, conflituosa e sem a qual a concordância declarada permanece sem consequência. É nessa diferença que se decide se as transformações em curso ampliarão ou reduzirão a capacidade das pessoas de influenciar as condições em que vivem.

REFERÊNCIAS

BOVENS, Mark. Analysing and assessing accountability: a conceptual framework. **European Law Journal**, v. 13, n. 4, p. 447-468, 2007.

BRASIL. **Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004**. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo. Brasília, DF: Presidência da República, 2004.

BRASIL. **Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016**. Dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação. Brasília, DF: Presidência da República, 2016.

COLLINGRIDGE, David. **The social control of technology**. New York: St. Martin's Press, 1980.

DEWEY, John. **The public and its problems**. New York: Henry Holt, 1927.

ETZKOWITZ, Henry; LEYDESDORFF, Loet. 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.

FLORIDI, Luciano; COWLS, Josh. A unified framework of five principles for AI in society. **Harvard Data Science Review**, v. 1, n. 1, 2019.

FRASER, Nancy. **Scales of justice**: reimagining political space in a globalizing world. New York: Columbia University Press, 2009.

FUNG, Archon. Varieties of participation in complex governance. **Public Administration Review**, v. 66, n. s1, p. 66-75, 2006.

FUNTOWICZ, Silvio O.; RAVETZ, Jerome R. Science for the post-normal age. **Futures**, v. 25, n. 7, p. 739-755, 1993.

GIBBONS, Michael et al. **The new production of knowledge**: the dynamics of science and research in contemporary societies. London: Sage, 1994.

GUSTON, David H. Understanding anticipatory governance. **Social Studies of Science**, v. 44, n. 2, p. 218-242, 2014.

HABERMAS, Jürgen. **Between facts and norms**: contributions to a discourse theory of law and democracy. Cambridge: MIT Press, 1996.

JOBIN, Anna; IENCA, Marcello; VAYENA, Effy. The global landscape of AI ethics guidelines. **Nature Machine Intelligence**, v. 1, p. 389-399, 2019.

JONAS, Hans. **O princípio responsabilidade**: ensaio de uma ética para a civilização tecnológica. Rio de Janeiro: Contraponto, 2006.

MAZZUCATO, Mariana. **Mission economy**: a moonshot guide to changing capitalism. London: Allen Lane, 2021.

MITTELSTADT, Brent. Principles alone cannot guarantee ethical AI. **Nature Machine Intelligence**, v. 1, p. 501-507, 2019.

NUSSBAUM, Martha C. **Creating capabilities**: the human development approach. Cambridge: Harvard University Press, 2011.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Guiding principles on business and human rights**: implementing the United Nations protect, respect and remedy framework. Genebra: ONU, 2011.

OSTROM, Elinor. Beyond markets and states: polycentric governance of complex economic systems. **American Economic Review**, v. 100, n. 3, p. 641-672, 2010.

PAIXÃO, Joelson Lopes da. Sistemas energéticos e governança: análise crítica das estruturas institucionais, regulatórias e políticas na transição para a sustentabilidade. In: SILVEIRA, Resiane Paula da (org.). **Episteme em movimento**: estudos em convergência. Formiga: Editora Uniatual, 2026. v. 1, p. 27-41.

RAWLS, John. **A theory of justice**. Cambridge: Harvard University Press, 1971.

SANTOS, Boaventura de Sousa. **Epistemologies of the South**: justice against epistemicide. Boulder: Paradigm Publishers, 2014.

SEN, Amartya. **The idea of justice**. Cambridge: Harvard University Press, 2009.

SILVA, Weverton Junior de Villa et al. Ciências humanas, sociedade e cidadania: perspectivas críticas para o futuro. In: PAIXÃO, Joelson Lopes da et al. (org.). **Saberes interdisciplinares e multidisciplinares**: educação, ciência, sociedade e inovação. Curitiba: Aurum Editora, 2026. v. 1, p. 140-156.

STILGOE, Jack; OWEN, Richard; MACNAGHTEN, Phil. Developing a framework for responsible innovation. **Research Policy**, v. 42, n. 9, p. 1568-1580, 2013.

STIRLING, Andy. Opening up and closing down: power, participation, and pluralism in the social appraisal of technology. **Science, Technology and Human Values**, v. 33, n. 2, p. 262-294, 2008.

UNESCO. **Recommendation on the ethics of artificial intelligence**. Paris: UNESCO, 2021.

WYNNE, Brian. Misunderstood misunderstanding: social identities and public uptake of science. **Public Understanding of Science**, v. 1, n. 3, p. 281-304, 1992.

YOUNG, Iris Marion. **Justice and the politics of difference**. Princeton: Princeton University Press, 1990.

CAPÍTULO 11

EDUCAÇÃO SUPERIOR, PESQUISA E INTEGRIDADE CIENTÍFICA NA ERA DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA

HIGHER EDUCATION, RESEARCH AND SCIENTIFIC INTEGRITY IN THE AGE OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE

 <https://doi.org/10.63330/livroautor912026-011>

Belmiro Marcos Beloni

Doutor em Ensino de Ciência e Tecnologia pela UTFPR. Técnico em Assuntos Educacionais da UTFPR e Professor Pedagogo da Rede Estadual do Paraná.
E-mail: belmiro@utfpr.edu.br
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5690687055535873>
ORCID: <https://orcid.org/.0000-0001-7120-8798>

Merielle Camilo

Doutora em Ensino de Ciência e Tecnologia pela UTFPR. Professora de Filosofia da Rede Estadual do Paraná.
E-mail: merielle.camilo@gmail.com
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/5601217466293145>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8606-9548>

Filipe da Cunha Gomes

Doutor em Sociologia pela UPFE. UEMA
E-mail: filipecunha1992@gmail.com
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/4369878520205803>
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8587-5106>

Kleyson Matos Silva

Especialista em Gestalt Terapia com ênfase em psicoterapia pela Faculdade São Vicente de Paula (FESVIP). Bacharel em Psicologia pela Universidade Estadual do Piauí (UESPI). Atuo como Psicólogo Educacional pela Universidade Federal do Piauí (UFPI) e psicanalista em formação (Instituto Gerar de Psicanálise).
E-mail: kleyson.silva@ufpi.edu.br
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3030098166697228>

Tales Ramos Monteiro dos Santos

Mestre em Comunicação, Universidade Católica de Brasília (UCB)
E-mail: professortales@gmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2372032441637444>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5314-576x>

Resumo

Este capítulo examina como a difusão de sistemas capazes de produzir texto acadêmico plausível afeta a produção, a certificação e a avaliação do conhecimento científico. O problema investigado decorre de uma coincidência que merece exame: essas ferramentas chegaram a um sistema de pesquisa que já apresentava fragilidades documentadas em reprodutibilidade, incentivos de publicação e critérios de avaliação, de modo

que seu efeito não incide sobre um arranjo estável, mas sobre um arranjo em tensão. A pergunta que orienta o texto indaga sob que condições a incorporação dessas tecnologias amplia a capacidade de produzir conhecimento confiável, e sob que condições ela erode a confiança que sustenta o próprio empreendimento científico. O percurso é o de um ensaio teórico qualitativo, apoiado em revisão narrativa crítica de literatura da sociologia da ciência, da metaciência, da ética em pesquisa e das políticas de avaliação acadêmica, além de documentos normativos e de diretrizes editoriais. Sustenta-se que o problema central não é a ferramenta, mas a estrutura de incentivos sobre a qual ela incide: sistemas que premiam volume de publicação sobre confiabilidade tornam atraente qualquer tecnologia que reduza o custo de produzir texto, independentemente do que esse texto contenha. A discussão percorre a função certificadora da universidade, a crise de reprodutibilidade, os efeitos das métricas de avaliação, a publicação predatória, as questões de autoria e responsabilidade, os limites epistêmicos dos modelos de linguagem, a ética em pesquisa e a formação de pesquisadores.

Palavras-chave: Integridade científica; Avaliação da pesquisa; Inteligência artificial generativa; Reprodutibilidade; Pós-graduação.

Abstract

This chapter examines how the diffusion of systems capable of producing plausible academic text affects the production, certification and assessment of scientific knowledge. The problem addressed follows from a coincidence worth examining: these tools reached a research system already displaying documented weaknesses in reproducibility, publication incentives and evaluation criteria, so that their effect bears not on a stable arrangement but on one under strain. The guiding question asks under what conditions the adoption of these technologies expands the capacity to produce reliable knowledge, and under what conditions it erodes the trust that sustains the scientific enterprise itself. The approach is that of a qualitative theoretical essay, resting on a critical narrative review of literature from the sociology of science, metascience, research ethics and academic evaluation policy, alongside normative documents and editorial guidelines. It is argued that the central problem is not the tool but the incentive structure on which it operates: systems that reward publication volume over reliability make attractive any technology that lowers the cost of producing text, regardless of what that text contains. The discussion covers the certifying function of the university, the reproducibility crisis, the effects of evaluation metrics, predatory publishing, questions of authorship and responsibility, the epistemic limits of language models, research ethics and the training of researchers.

Keywords: Research integrity; Research assessment; Generative artificial intelligence; Reproducibility; Graduate education.

1 INTRODUÇÃO

Em janeiro de 2023, revistas científicas de grande circulação passaram a publicar posicionamentos editoriais sobre uma questão que, poucos meses antes, não existia: sistemas de linguagem haviam começado a figurar como coautores em manuscritos submetidos. A resposta foi rápida e convergente. Ferramentas não podem ser autores, porque autoria implica responsabilidade, e responsabilidade supõe alguém a quem imputar. A questão parecia resolvida.

Ela não estava. O que os posicionamentos editoriais enfrentaram foi o caso mais visível e menos consequente do problema. Nomear um sistema como coautor é gesto excêntrico, facilmente identificável e trivialmente proibível. O que não se resolve por proibição é a situação ordinária: um texto acadêmico produzido com assistência intensiva de uma ferramenta, assinado por pesquisadores que o revisaram em grau variável, submetido a revisores que dispõem das mesmas ferramentas, avaliado por sistemas que contam publicações sem examinar seu conteúdo.

Há uma segunda circunstância que torna o problema mais grave do que pareceria. Essas tecnologias não chegaram a um sistema de pesquisa saudável, cuja integridade estivesse assegurada e que agora enfrenta ameaça externa. Chegaram a um sistema que há mais de uma década acumula evidência de fragilidade própria: dificuldades de reprodução de resultados em vários campos, práticas analíticas que ampliam a taxa de achados falsos, proliferação de periódicos que cobram pela publicação sem exercer avaliação, e critérios de progressão na carreira que premiam quantidade de produtos com maior consistência do que qualidade de contribuição.

A conjunção dessas duas coisas define o problema deste capítulo. Uma tecnologia que reduz drasticamente o custo de produzir texto plausível encontra um sistema que remunera a produção de texto. Não é preciso supor má-fé generalizada para prever o resultado. Basta supor que pesquisadores respondem a incentivos, como qualquer outro grupo profissional submetido a avaliação.

Convém delimitar desde já o que este capítulo não sustenta. Não se afirma que a produção científica esteja em colapso, nem que ferramentas de linguagem sejam incompatíveis com a pesquisa honesta. Elas apresentam usos legítimos e verificáveis: apoio à redação em língua estrangeira, sistematização de literatura, revisão de clareza, geração de código para análise, tradução. Vários desses usos ampliam a participação de pesquisadores cuja língua materna não é aquela em que precisam publicar, o que constitui ganho distributivo real e pouco discutido.

A pergunta que orienta o texto é, portanto: **sob que condições a incorporação dessas tecnologias amplia a capacidade de produzir conhecimento confiável, e sob que condições ela erode a confiança**

que sustenta o empreendimento científico? O objetivo é analisar os efeitos dessa difusão sobre a produção, a certificação e a avaliação do conhecimento na educação superior e na pós-graduação.

Sustenta-se que o problema central não é a ferramenta, mas a estrutura de incentivos sobre a qual ela incide. Sistemas de avaliação que premiam volume de publicação sobre confiabilidade tornam atraente qualquer tecnologia que reduza o custo de produzir texto, independentemente do que esse texto contenha. Enfrentar o problema pelo lado da proibição, sem alterar essa estrutura, produz regras de cumprimento improvável e desloca o esforço institucional para a fiscalização de algo que a fiscalização não alcança.

O interesse desta discussão não se restringe a quem faz pesquisa. Instituições de ensino superior certificam competências das quais dependem serviços de saúde, obras de engenharia, decisões jurídicas e políticas públicas. Agências de fomento alocam recursos públicos com base em avaliação de mérito. Empregadores contratam confiando em diplomas. Editoras e sociedades científicas exercem função de certificação que o mercado não replica. Quando a confiabilidade dessa cadeia é posta em dúvida, o efeito ultrapassa largamente o meio acadêmico.

O capítulo prossegue nesta ordem. Descrito o método, a fundamentação examina a função certificadora da universidade, a crise de reprodutibilidade e o que ela revelou sobre incentivos, os efeitos das métricas de avaliação, a economia da publicação predatória, as questões de autoria e responsabilidade suscitadas pelas ferramentas generativas, seus limites epistêmicos, a ética em pesquisa e a formação de pesquisadores. A quarta seção reúne o que disso decorre em termos de prática institucional. A quinta trata dos obstáculos e do que sua superação exige. O encerramento retoma a pergunta inicial e demarca o alcance do argumento.

2 PERCURSO METODOLÓGICO

A investigação assume a forma de ensaio teórico e é de natureza qualitativa. Apoia-se em revisão narrativa crítica de literatura científica, documental e normativa pertinente ao problema formulado. Os protocolos que definem revisões sistemáticas, de escopo ou integrativas não foram observados, e nenhuma investigação empírica sobre instituições, programas ou periódicos específicos foi realizada.

As fontes examinadas agrupam-se em quatro conjuntos. O primeiro reúne a sociologia da ciência e a metaciência, campo que examina empiricamente as práticas de produção do conhecimento e que forneceu, na última década, a evidência sobre reprodutibilidade e sobre efeitos de incentivos. O segundo compreende a literatura sobre avaliação da pesquisa, incluindo declarações e manifestos que propõem critérios alternativos aos indicadores bibliométricos convencionais. O terceiro abrange as análises sobre modelos de linguagem, seus mecanismos e suas limitações, produzidas na interface entre ciência da computação, linguística e estudos críticos de tecnologia. O quarto agrega documentos normativos e de diretrizes:

legislação brasileira sobre ética em pesquisa e direitos autorais, resoluções do sistema nacional de ética em pesquisa, códigos de boas práticas científicas e posicionamentos de organismos editoriais internacionais.

Guiaram a seleção a pertinência ao problema, a autoridade reconhecida das fontes, a atualidade quando o tema a exigia e a aderência ao objetivo do capítulo. Foram incorporadas posições divergentes quanto à extensão da crise de reprodutibilidade e quanto à interpretação de seus achados, dado que o campo apresenta controvérsia substantiva sobre a magnitude do problema e sobre suas causas, cuja supressão produziria diagnóstico mais alarmante ou mais tranquilizador do que a evidência sustenta.

Cabe declarar quatro restrições. A primeira é a ausência de valores quantitativos sobre taxas de reprodução, prevalência de má conduta, número de periódicos predatórios ou volume de textos produzidos com assistência automatizada. Os estudos disponíveis reportam resultados fortemente dependentes de campo, método de amostragem e definição operacional adotada, e a citação de números fora desse contexto produziria generalização indevida. A segunda é que os documentos normativos e as diretrizes editoriais foram referenciados quanto ao seu objeto e à sua função, sem reprodução de dispositivos ou requisitos. A terceira é que as políticas editoriais e as normas de fomento sobre uso de ferramentas generativas têm sido revistas com frequência elevada. A consulta documental deste capítulo foi encerrada em 5 de setembro de 2026, e a situação descrita exige verificação de atualidade no momento da leitura. A quarta é que as observações sobre a conduta de instituições e periódicos provêm da literatura examinada, e não de levantamento próprio. O que se sustenta adiante tem valor interpretativo e admite refutação.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E DISCUSSÃO CRÍTICA

3.1 A UNIVERSIDADE COMO INSTITUIÇÃO DE CERTIFICAÇÃO

Universidades produzem conhecimento, mas essa não é sua função socialmente mais consequente. A função mais consequente é certificar: atestar que determinada pessoa possui determinada competência, que determinado resultado foi obtido segundo procedimentos aceitáveis, que determinada afirmação resistiu a exame por pares qualificados. Essa certificação sustenta decisões tomadas muito longe do meio acadêmico, por pessoas que não têm como verificar por conta própria o que a certificação atesta.

A caracterização clássica das normas que regulam a atividade científica identificou quatro compromissos que a comunidade impõe a seus membros: o universalismo, que submete afirmações a critérios impessoais independentemente de quem as formula; o comunalismo, que trata os achados como propriedade comum e não privada; o desinteresse, que exige que a atividade não seja orientada por ganho pessoal imediato; e o ceticismo organizado, que suspende o juízo até o exame sistemático (MERTON, 1973). Essas normas foram desde cedo objeto de crítica quanto à sua correspondência com a prática efetiva, e o próprio autor reconhecia a distância entre norma declarada e conduta observada. Sua utilidade analítica permanece, contudo, precisamente porque descrevem o que a certificação promete: se as afirmações

científicas merecem confiança superior à de outras afirmações, é porque foram submetidas a um regime particular de escrutínio.

Daí decorre a proposição que organiza este capítulo. O valor social da certificação acadêmica depende inteiramente de sua confiabilidade. Um diploma vale porque atesta algo verdadeiro sobre quem o porta; um artigo revisado vale porque o exame por pares filtrou algo. Tecnologias, práticas ou incentivos que reduzam essa confiabilidade não produzem apenas dano interno ao meio acadêmico: erodem um bem público do qual dependem setores que sequer participam da discussão.

A relação entre produção acadêmica e aplicação social não é, ademais, automática. A discussão sobre interfaces entre conhecimento acadêmico e desenvolvimento social identifica que a conversão de resultados de pesquisa em capacidade aplicada depende de arranjos de tradução, cooperação e absorção que precisam ser deliberadamente construídos, sob risco de que a produção científica e as demandas sociais permaneçam em circuitos paralelos (FRACARO et al., 2026). Essa observação é pertinente porque delimita o alcance do problema aqui tratado: a integridade da produção é condição necessária para que essa conversão seja socialmente útil, e não condição suficiente.

3.2 A CRISE DE REPRODUTIBILIDADE E O QUE ELA REVELOU

A partir de meados da década de 2000, um conjunto de contribuições passou a examinar empiricamente a confiabilidade dos achados publicados. A análise que mais repercutiu argumentou, a partir de modelagem das relações entre poder estatístico, flexibilidade analítica, razão de hipóteses verdadeiras testadas em um campo e vieses de publicação, que a proporção de achados publicados que são falsos tende a ser elevada em muitas áreas, e mais elevada quanto menores forem os estudos e maior a flexibilidade metodológica disponível (IOANNIDIS, 2005).

A demonstração prática dessa flexibilidade veio de trabalho que mostrou como decisões analíticas aparentemente inócuas, tomadas após a coleta dos dados, ampliam substancialmente a probabilidade de obter resultado estatisticamente significativo na ausência de efeito real (SIMMONS; NELSON; SIMONSOHN, 2011). O conjunto dessas decisões, que inclui escolher quando parar de coletar, quais variáveis reportar e quais casos excluir, não constitui fraude no sentido usual e raramente é percebido como tal por quem o pratica.

Iniciativas de replicação em larga escala forneceram evidência direta. O esforço coordenado que tentou reproduzir um conjunto amplo de estudos publicados em psicologia obteve, na maior parte das tentativas, efeitos de magnitude inferior aos originais, e em proporção substancial dos casos não obteve resultado estatisticamente significativo (OPEN SCIENCE COLLABORATION, 2015). Levantamento junto a pesquisadores de diversas áreas indicou percepção disseminada de que existe um problema de

reprodutibilidade, com atribuição de causas que incluem pressão por publicar, relato seletivo e baixo poder estatístico (BAKER, 2016).

Duas cautelas interpretativas merecem registro, porque a divulgação desses achados frequentemente as omite. A primeira é que falha de replicação não equivale a falsidade do achado original: pode decorrer de diferenças de amostra, de contexto ou de procedimento, e a distinção entre essas hipóteses exige investigação adicional. A segunda é que a magnitude do problema varia consideravelmente entre campos, e a extrapolação de resultados obtidos em uma área para o conjunto da ciência não é sustentável.

O diagnóstico que emergiu dessa literatura atribui o problema menos à conduta individual e mais à configuração dos incentivos. A proposta de um conjunto articulado de medidas para melhorar a confiabilidade da pesquisa identifica que práticas como registro prévio de protocolos, ampliação do poder estatístico, transparência de dados e materiais, e reforma dos critérios de avaliação atuam sobre causas estruturais, ao passo que apelos à integridade individual atuam sobre sintomas (MUNAFÒ et al., 2017). Estimativas sobre a prevalência de fabricação e falsificação deliberadas, obtidas por metanálise de levantamentos com pesquisadores, indicam que a má conduta declarada é comparativamente rara, o que reforça a leitura de que o problema principal reside em práticas questionáveis disseminadas e não em fraude generalizada (FANELLI, 2009).

3.3 AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO ACADÊMICA E OS EFEITOS DAS MÉTRICAS

A avaliação de pesquisadores, programas e instituições apoia-se largamente em indicadores quantitativos: número de publicações, fator de impacto dos veículos, contagem de citações, índices compostos. Esses indicadores possuem vantagens administrativas evidentes. São comparáveis, auditáveis e dispensam leitura do que se avalia.

A crítica a essa prática consolidou-se em documentos coletivos. A declaração formulada em San Francisco recomenda expressamente que o fator de impacto de periódicos não seja utilizado como medida substituta da qualidade de artigos individuais nem em decisões de contratação, promoção e financiamento, e propõe que a avaliação considere o conteúdo científico do trabalho (DORA, 2012). O manifesto formulado em Leiden estabelece princípios para o uso de indicadores, entre os quais a subordinação da métrica ao juízo qualitativo informado, a consideração das especificidades de cada campo, a transparência dos procedimentos e o exame periódico dos efeitos que os próprios indicadores produzem sobre o comportamento avaliado (HICKS et al., 2015). Revisão independente sobre o papel das métricas na avaliação da pesquisa concluiu, em direção convergente, que indicadores devem apoiar e não substituir a avaliação por pares, e documentou efeitos adversos associados ao seu uso mecânico (WILSDON et al., 2015).

O mecanismo pelo qual esses efeitos ocorrem é conhecido e não é específico da ciência. Quando uma medida se torna objetivo, ela deixa de ser boa medida, porque o comportamento se ajusta ao indicador e não ao construto que ele pretendia representar. Aplicado à pesquisa, esse ajuste produz fragmentação de resultados em publicações mínimas, autoria honorária, citação estratégica e escolha de temas por probabilidade de publicação e não por relevância. Análise sobre os critérios efetivamente adotados em decisões de contratação e promoção em instituições de pesquisa identificou predominância de indicadores de produtividade sobre indicadores de qualidade, transparência ou contribuição social, o que sinaliza aos pesquisadores em formação o que precisam fazer para permanecer na carreira (MOHER et al., 2018).

A conexão com o objeto deste capítulo é direta. Um sistema que remunera volume de texto oferece incentivo estrutural à adoção de qualquer tecnologia que reduza o custo de produzi-lo. Enquanto essa estrutura permanecer, políticas restritivas sobre uso de ferramentas generativas operarão contra o interesse imediato de quem é avaliado, o que torna previsível seu descumprimento.

3.4 A ECONOMIA DA PUBLICAÇÃO PREDATÓRIA

A transição para modelos de publicação em que o custo é suportado pelo autor criou condições para o surgimento de periódicos que cobram taxas de processamento sem prestar os serviços editoriais que justificariam a cobrança. O fenômeno recebeu atenção crescente e sua delimitação mostrou-se mais difícil do que se supunha inicialmente.

O alerta que popularizou o tema argumentava que a proliferação desses veículos corrompia a promessa do acesso aberto ao associá-lo à ausência de controle de qualidade (BEALL, 2012). A crítica posterior observou que a distinção entre periódicos predatórios e periódicos legítimos de baixa qualidade ou recursos limitados não é nítida, que listas baseadas em julgamento individual reproduzem vieses geográficos e linguísticos, e que a ausência de definição consensual dificultava tanto a pesquisa sobre o fenômeno quanto a orientação a autores. O esforço coletivo de delimitação que se seguiu propôs caracterização baseada em quatro elementos: prioridade ao interesse próprio em detrimento da qualidade acadêmica, informação enganosa, desvio das melhores práticas editoriais e ausência de transparência (GRUDNIEWICZ et al., 2019).

Convém registrar que a associação entre acesso aberto e predação é analiticamente incorreta. O acesso aberto é um arranjo de licenciamento e distribuição, cuja fundamentação repousa na ampliação do alcance do conhecimento financiado publicamente, e é compatível com controle editorial rigoroso (SUBER, 2012). O que produz predação não é a abertura, mas a combinação entre pagamento pelo autor e ausência de avaliação, aliada a um sistema que conta publicações sem examiná-las.

A relevância desse fenômeno para o problema aqui tratado está na convergência de dois fatores. Um veículo que não exerce avaliação não detecta texto produzido sem verificação, e a redução do custo de

produzir manuscritos amplia a oferta disponível para veículos que aceitam qualquer submissão paga. O resultado previsível é o crescimento de um estrato de literatura formalmente publicada, contabilizável em avaliações e citável, cuja confiabilidade nunca foi examinada.

3.5 AUTORIA, RESPONSABILIDADE E TRANSPARÊNCIA NO USO DE FERRAMENTAS GENERATIVAS

A resposta editorial à possibilidade de atribuir autoria a sistemas foi rápida e substancialmente convergente. Posicionamento de organismo internacional dedicado à ética em publicação estabeleceu que ferramentas não podem figurar como autoras, uma vez que não têm como assumir responsabilidade pelo conteúdo, atender a solicitações sobre conflitos de interesse ou responder por eventuais problemas identificados após a publicação, e recomendou que seu uso seja declarado nas seções apropriadas do manuscrito (COMMITTEE ON PUBLICATION ETHICS, 2023). Recomendações de comitê internacional de editores de periódicos médicos incorporaram orientação equivalente e foram substancialmente ampliadas na atualização de janeiro de 2026, que passou a dedicar seção própria ao uso de inteligência artificial em publicação, com orientação distinta para autores, revisores e editores. O texto atribui aos autores humanos a responsabilidade integral pelo conteúdo, inclusive pelas partes produzidas com assistência automatizada, veda a atribuição de autoria a ferramentas, exige que o uso seja divulgado e estabelece que sistemas podem gerar resultado de aparência autoritativa e conteúdo incorreto, incompleto ou enviesado (INTERNATIONAL COMMITTEE OF MEDICAL JOURNAL EDITORS, 2026). Editorial de periódico de alta circulação formulou o argumento de modo direto ao situar a atribuição de autoria a sistemas como ameaça à transparência da ciência, dado que a responsabilidade pelo trabalho não pode ser dividida com uma ferramenta (NATURE, 2023).

No plano nacional, essa orientação deixou de ser apenas editorial. A política de integridade na atividade científica instituída pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, em março de 2026, estabeleceu diretrizes sobre transparência no uso de ferramentas de inteligência artificial, responsabilidade integral dos autores pelo conteúdo produzido, gestão adequada dos dados de pesquisa e divulgação responsável de resultados, aplicáveis a proponentes e beneficiários de fomento, usuários das plataformas da agência e consultores que atuam em julgamento de mérito (CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO, 2026a). A norma tipifica ainda condutas correlatas ao problema discutido neste capítulo, entre as quais a fabricação e a falsificação de dados, o plágio, o autoplágio, a fragmentação injustificada de estudos e a participação em periódicos predatórios. Procedimentos para tratamento de denúncias relativas a essa política foram estabelecidos em ato posterior (CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO, 2026b). A análise das implicações éticas, epistemológicas e normativas dessa reconfiguração da autoria acadêmica

indica que o problema não se resolve pela simples vedação da coautoria algorítmica, uma vez que a interferência dessas ferramentas incide sobre os próprios processos cognitivos de elaboração, e exige atualização normativa acompanhada de atualização epistemológica (PAIXÃO et al., 2026).

Esse consenso resolve um caso e deixa aberto o problema principal. A exigência de declaração de uso pressupõe disposição de declarar, e opera em um contexto em que a declaração pode ser interpretada por avaliadores como sinal de menor mérito. Enquanto o uso declarado for penalizado informalmente, a exigência de transparência produzirá subdeclaração.

Uma distinção analítica é necessária e raramente é feita com clareza. Há usos que não afetam a substância do trabalho, como revisão gramatical, tradução e formatação, e cuja declaração cumpre função informativa. Há usos que participam da produção do conteúdo, como redação de seções, sistematização de literatura ou interpretação de resultados, e cuja declaração é condição para que o leitor avalie o que está lendo. E há, por fim, condutas que comprometem a validade do trabalho, como inventar ou apresentar como reais dados, referências, citações ou resultados inexistentes ou não obtidos pela investigação; nesses casos, o problema não é de declaração de uso, mas de integridade científica. Tratar essas três categorias sob a mesma regra produz política inaplicável: excessivamente restritiva para a primeira, insuficiente para a terceira.

A dimensão da revisão por pares merece registro específico, e é nela que a orientação internacional se tornou mais precisa. Um manuscrito não publicado constitui comunicação privilegiada, confiada ao revisor sob compromisso de confidencialidade, e sua transmissão a sistemas operados por terceiros pode romper esse compromisso ainda que sem intenção. A disciplina vigente estabelece que revisores e editores não devem submeter manuscritos a sistemas de inteligência artificial nos quais a confidencialidade não possa ser assegurada sem autorização expressa dos autores, que a intenção de utilizar tais ferramentas deve ser previamente comunicada ao periódico, que o uso deve ser declarado no parecer e que cabe ao revisor verificar a adequação e a validade do resultado obtido (INTERNATIONAL COMMITTEE OF MEDICAL JOURNAL EDITORS, 2026). A distinção relevante, portanto, não opõe uso permitido e uso vedado, mas separa a hipótese em que há autorização e garantia de sigilo daquela em que documento de terceiro é enviado a serviço externo sem uma coisa nem outra.

3.6 LIMITES EPISTÊMICOS DOS MODELOS DE LINGUAGEM NA PRODUÇÃO CIENTÍFICA

A avaliação do uso dessas ferramentas em pesquisa exige compreender o que elas fazem. A análise que caracterizou os riscos dos grandes modelos de linguagem argumentou que sistemas treinados para prever sequências prováveis de palavras produzem texto coerente sem qualquer acesso ao significado ou à verdade do que enunciam, e que a fluência do resultado induz atribuição de compreensão que o mecanismo não sustenta (BENDER et al., 2021). A caracterização foi objeto de debate quanto ao seu

alcance, e sistemas posteriores incorporaram recursos que atenuam parte das limitações apontadas. O núcleo do argumento permanece pertinente para o uso acadêmico: plausibilidade textual e correção factual são propriedades distintas, e a primeira não é evidência da segunda.

Discussão dedicada especificamente ao emprego desses modelos na ciência identificou riscos que incluem a produção de referências inexistentes, a atribuição incorreta de ideias a autores, a homogeneização da expressão científica e a possibilidade de que a facilidade de produção desloque esforço da investigação para a redação (BIRHANE et al., 2023). O primeiro desses riscos é particularmente insidioso porque as referências fabricadas são formalmente verossímeis: combinam autores reais, periódicos existentes e formatação correta, o que as torna indetectáveis por leitura superficial e detectáveis apenas por verificação individual.

Uma implicação prática decorre dessa característica. A verificação de cada referência na fonte primária, prática que a formação em pesquisa sempre recomendou e que a facilidade de acesso a bases bibliográficas havia tornado menos rigorosa, volta a ser requisito não dispensável. O mesmo vale para dados, citações diretas e atribuições de posição a autores.

Orientações internacionais sobre o uso dessas tecnologias em contextos educacionais e de pesquisa recomendam avaliação prévia de adequação, preservação da supervisão humana sobre decisões consequentes e definição institucional explícita sobre usos aceitáveis (UNESCO, 2023). A tradução dessas recomendações em política institucional aplicável é discutida adiante.

3.7 ÉTICA EM PESQUISA E PROTEÇÃO DOS PARTICIPANTES

A disciplina ética da pesquisa com seres humanos constitui campo consolidado, com arquitetura institucional própria. No Brasil, resoluções do conselho responsável pela matéria estabeleceram diretrizes gerais para pesquisas envolvendo seres humanos e, posteriormente, disciplina específica para as ciências humanas e sociais, reconhecendo que os procedimentos de proteção adequados a ensaios clínicos não se transpõem sem mediação a pesquisas de natureza distinta (CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE, 2012; CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE, 2016). Legislação posterior estabeleceu marco legal para a pesquisa com seres humanos, dispondo sobre o sistema de análise ética e sobre direitos dos participantes (BRASIL, 2024), regulamentada em 2025 por decreto que estruturou o Sistema Nacional de Ética em Pesquisa com Seres Humanos e determinou que suas disposições alcançam as pesquisas que utilizem dados pessoais, informações sensíveis ou material biológico, observada a legislação de proteção de dados pessoais (BRASIL, 2025). Esse decreto manteve provisoriamente aplicáveis as normas anteriores do conselho responsável pela matéria naquilo que não contrariem o novo regime, o que recomenda consulta simultânea aos dois conjuntos normativos durante o período de transição.

A incorporação de ferramentas automatizadas introduz questões que essa arquitetura não antecipou. Dados de participantes submetidos a sistemas operados por terceiros para transcrição, codificação ou análise podem sair do ambiente controlado descrito no protocolo aprovado, e o consentimento obtido pode não contemplar expressamente essa transmissão. A questão não é apenas ética: informações sobre saúde, origem racial ou étnica, convicção religiosa, opinião política e vida sexual integram a categoria de dados pessoais sensíveis, submetida a hipóteses de tratamento mais restritas do que as aplicáveis a dados pessoais em geral, e a transferência desses dados a operador não previsto no protocolo deve permanecer amparada por hipótese legal de tratamento aplicável, além de observar as exigências de finalidade, transparência, segurança e responsabilização atribuídas a controladores e operadores (BRASIL, 2018). A remissão expressa do decreto regulamentador à legislação de proteção de dados torna essa articulação obrigatória e não facultativa, o que recomenda que os protocolos submetidos a análise ética passem a explicitar quais ferramentas serão empregadas no tratamento dos dados e sob que condições. Códigos de boas práticas científicas adotados por agências de fomento estabelecem deveres relativos a manejo de dados, autoria e conflitos de interesse que se aplicam a essa situação, ainda que formulados antes dela (FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2014).

Há uma segunda questão, relativa a direitos autorais. Textos submetidos a sistemas de terceiros para revisão ou reformulação podem incluir material de titularidade alheia, e a legislação brasileira sobre direitos autorais estabelece o regime aplicável à utilização de obras protegidas (BRASIL, 1998). A avaliação dessas situações concretas depende de exame que ultrapassa o escopo deste capítulo, e a menção serve para registrar que a questão existe e permanece sem tratamento institucional consolidado.

3.8 FORMAÇÃO DE PESQUISADORES E ORIENTAÇÃO NA PÓS-GRADUAÇÃO

A formação de pesquisadores ocorre predominantemente por participação supervisionada em atividade de pesquisa, e não por transmissão de conteúdo. O que se aprende na pós-graduação inclui julgar a solidez de um argumento, reconhecer quando um resultado é frágil, identificar o que uma análise não demonstra e decidir quando um trabalho está pronto. Essas competências são adquiridas por exercício repetido e corrigido, e não admitem atalho.

A disponibilidade de ferramentas que produzem texto acadêmico plausível incide diretamente sobre esse processo formativo, de modo que merece exame cuidadoso. Um estudante que delega a redação de uma revisão de literatura obtém um produto aceitável e não realiza a operação cognitiva que a tarefa pretendia desenvolver, que consiste em ler, comparar, identificar divergências e situar a própria contribuição. A perda não é imediatamente visível, porque o produto entregue é adequado, e se manifesta depois, quando a competência não desenvolvida se torna necessária.

Isso não recomenda proibição, que seria de fiscalização impraticável e que privaria o estudante de familiaridade com ferramentas que integrarão sua prática profissional. Recomenda, sim, explicitar em cada tarefa formativa qual competência se pretende desenvolver, e desenhar a avaliação de modo compatível com esse objetivo. Uma revisão de literatura cuja defesa oral exija discutir divergências entre os autores citados avalia algo distinto do texto entregue.

A dimensão da orientação merece registro. A relação de orientação constitui um dos principais mecanismos de transmissão de padrões de conduta em pesquisa, e sua qualidade depende de tempo dedicado, de proporção razoável entre orientandos e orientadores e de estabilidade da relação ao longo do percurso. Sistemas de avaliação que contabilizam número de orientações concluídas sem examinar o processo criam incentivo à ampliação de vínculos além do que o acompanhamento efetivo comporta.

4 POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO, PREPARAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO

4.1 PRÁTICAS DE CIÊNCIA ABERTA COMO RESPOSTA ESTRUTURAL

O conjunto de práticas designado por ciência aberta oferece resposta que atua sobre causas e não sobre sintomas. A proposta de padrões para promover uma cultura de pesquisa aberta articula diretrizes graduadas relativas a citação de dados, transparência de materiais e métodos, disponibilização de dados analíticos e código, registro prévio de estudos e de planos de análise, e replicação (NOSEK et al., 2015). A graduação é característica relevante: ela permite que periódicos e instituições adotem níveis compatíveis com sua capacidade, em vez de enfrentar escolha entre exigência integral e nenhuma exigência.

Duas dessas práticas apresentam relação direta com o problema deste capítulo. O registro prévio de protocolos e planos de análise reduz a flexibilidade analítica posterior, que é o mecanismo documentado de inflação de achados positivos. E a disponibilização de dados e código permite verificação independente, um dos mecanismos mais robustos para detectar discrepâncias entre os resultados reportados e os materiais que os sustentam, ao lado da reanálise, da auditoria metodológica e da replicação por terceiros. Nenhuma das duas depende de confiança na declaração do autor, o que as torna robustas justamente na situação em que a declaração é o elo frágil.

4.2 POLÍTICA INSTITUCIONAL SOBRE USO DE FERRAMENTAS GENERATIVAS

A formulação de política institucional deixou de ser inteiramente discricionária. Instituições que sediam pesquisas apoiadas por agência federal de fomento passaram a compartilhar com os pesquisadores a responsabilidade pela integridade do trabalho, cabendo-lhes promover cultura institucional de integridade e tratar os casos de desvio, sob diretrizes que incluem a transparência no uso de ferramentas de inteligência artificial (CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO, 2026a). A questão prática, portanto, não é mais se haverá política, mas com que grau de precisão ela será

redigida. Instituições que a enfrentam pela via da proibição genérica produzem regras inaplicáveis. O Quadro 1 organiza uma alternativa, graduando o tratamento conforme a natureza do uso e a consequência sobre a validade do trabalho. É esquema analítico elaborado com finalidade expositiva a partir das referências citadas, e não instrumento validado nem modelo normativo.

Quadro 1 – Graduação de usos de ferramentas generativas em contexto acadêmico

Natureza do uso	Exemplo	Tratamento adequado	Fundamento
Apoio linguístico	Revisão gramatical, tradução, ajuste de clareza	Permitido; uso e finalidade declarados conforme a política institucional, editorial ou de fomento aplicável	Não afeta a substância, mas a transparência é exigida por políticas vigentes
Apoio operacional	Formatação, organização de referências já verificadas	Permitido; declaração conforme exigência da política aplicável	Baixo impacto sobre o conteúdo, sem dispensa automática de declaração
Participação na redação	Produção de trechos, sínteses ou estruturas argumentativas	Permitido mediante declaração específica e revisão integral	O leitor precisa saber o que avalia
Apoio analítico	Geração de código, sugestão de abordagem estatística	Permitido mediante verificação independente do resultado	Erro não detectado compromete a conclusão
Revisão por pares	Submissão de manuscrito inédito a sistema de terceiro	Condicional a autorização prévia do periódico, garantia de sigilo e declaração no parecer	Manuscrito é comunicação privilegiada; sem essas condições, há quebra de confidencialidade
Invenção de conteúdo factual	Apresentar como reais dados, referências, citações ou resultados inexistentes ou não obtidos na investigação	Vedado	Constitui fabricação ou falsificação conforme a natureza da conduta

Fonte: elaboração do autor com base nas referências citadas.

Duas distinções sustentam a última linha do quadro e merecem explicitação, porque sua ausência produz formulações imprecisas. A primeira separa o emprego de ferramentas na produção de material legítimo, que inclui geração de dados sintéticos declarados como tais, sugestão de referências posteriormente verificadas na fonte e apoio a análises computacionais, do ato de apresentar como reais elementos que não foram obtidos pela investigação. O primeiro conjunto é uso metodológico e admite declaração; o segundo é fabricação e não admite. A segunda distinção separa fabricação, que é a invenção de dados ou resultados, de falsificação, que é a alteração de material efetivamente obtido, condutas que a política de integridade do CNPq tipifica ao lado do plágio (CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO, 2026a).

A utilidade dessa graduação está em tornar a política aplicável. Uma regra que distingue categorias pode ser cumprida e verificada em alguma medida; uma proibição genérica é descumprida silenciosamente e desmoraliza o próprio regime que pretendia instituir.

4.3 REFORMA DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Se a estrutura de incentivos é a causa principal, ela é também o ponto de intervenção mais consequente. Três direções aparecem na literatura examinada.

A primeira consiste em limitar o número de produtos considerados na avaliação, solicitando ao pesquisador que indique um conjunto reduzido de trabalhos e os apresente por sua contribuição. Isso desloca o critério de quantidade para relevância e torna a fragmentação de resultados desvantajosa.

A segunda consiste em incorporar à avaliação dimensões que os indicadores convencionais não capturam, entre as quais transparência de dados e métodos, registro prévio, replicação de estudos alheios, revisão por pares realizada e contribuição para a formação. Essas atividades são custosas, socialmente valiosas e sistematicamente não remuneradas pelos critérios atuais.

A terceira consiste em examinar periodicamente os efeitos que o próprio sistema de avaliação produz sobre o comportamento avaliado, conforme recomendam os princípios formulados para o uso de indicadores (HICKS et al., 2015). Um sistema que nunca avalia seus próprios efeitos não tem como detectar que passou a premiar algo distinto do que pretendia.

Nenhuma dessas direções é de implementação simples. Todas ampliam o custo do processo avaliativo, exigem avaliadores dispostos a ler o que avaliam e produzem resultados menos comparáveis entre si. Essa perda de comparabilidade é frequentemente apresentada como objeção decisiva, quando é, em rigor, o preço de avaliar mérito em vez de contar produtos.

5 DESAFIOS, RISCOS, LIMITES E CONDIÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO

O primeiro obstáculo está na assimetria entre a velocidade de difusão das ferramentas e a das políticas institucionais. Regulamentos acadêmicos tramitam por instâncias colegiadas em prazos que se contam em semestres, enquanto as capacidades técnicas mudam em meses. Políticas formuladas com referência a configurações específicas tornam-se obsoletas antes de entrar em vigor, o que recomenda formulação por princípios e por consequência, não por lista de ferramentas.

O segundo é a inviabilidade da detecção. Sistemas que se propõem a identificar texto produzido automaticamente apresentam desempenho insuficiente para fundamentar decisões consequentes, e seus erros não se distribuem de modo neutro. Avaliação de sete detectores amplamente utilizados constatou que mais da metade das redações produzidas por autores não nativos foi classificada incorretamente como gerada por sistema, enquanto a acurácia sobre textos de autores nativos permaneceu próxima do máximo,

e que a diversificação do vocabulário reduzia a classificação incorreta, o que sugere que esses detectores penalizam expressão linguística menos elaborada (LIANG et al., 2023). Fundamentar acusação de má conduta em ferramenta com essa característica é procedimento injusto além de tecnicamente frágil.

O terceiro é a desigualdade de acesso. Ferramentas de melhor desempenho são pagas, e sua distribuição entre instituições e pesquisadores reproduz a desigualdade de recursos já existente. Uma política que pressupõe acesso universal opera sobre premissa falsa, e a discussão sobre uso legítimo dessas tecnologias precisa considerar que o acesso desigual a elas é, ele próprio, questão distributiva.

O quarto é o risco de que a preocupação com integridade produza burocracia sem efeito. Declarações formais, termos assinados e políticas extensas geram documentação e não alteram conduta quando não acompanhadas de mudança nos incentivos. A distinção entre medidas que funcionam e medidas que apenas registram a intenção de funcionar exige avaliação de efeito, raramente realizada.

O quinto é a sobrecarga da revisão por pares. O sistema de avaliação por pares opera com trabalho voluntário e já apresentava sinais de saturação antes do aumento de submissões que a facilidade de produção textual tende a provocar. Ampliar exigências de verificação sobre revisores sem alterar o reconhecimento dessa atividade agrava um problema existente.

O sexto diz respeito à assimetria entre campos. As práticas de ciência aberta discutidas aqui foram desenvolvidas majoritariamente em áreas de pesquisa empírica quantitativa, e sua transposição para campos cuja produção é predominantemente teórica, interpretativa ou baseada em pesquisa qualitativa exige adaptação que nem sempre é reconhecida. Exigir registro prévio de plano de análise de uma pesquisa etnográfica é aplicar procedimento fora de seu domínio de validade.

Uma limitação da própria literatura merece registro. A evidência sobre reprodutibilidade concentra-se em determinados campos e em determinados contextos institucionais, e a extrapolação de seus resultados para o conjunto da produção científica, ou para sistemas de pesquisa com organização distinta, carece de sustentação. A investigação sobre práticas de pesquisa, incentivos e integridade em instituições brasileiras permanece comparativamente escassa.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A questão que abriu este capítulo indagava sob que condições a incorporação de ferramentas generativas amplia a capacidade de produzir conhecimento confiável, e sob que condições ela a erode. A análise desenvolvida sustenta que essas condições residem predominantemente fora da tecnologia, na estrutura de incentivos que organiza a carreira acadêmica e a avaliação da pesquisa.

O que se sustentou reduz-se a três proposições. O primeiro é que essas ferramentas não encontraram um sistema íntegro que passaram a ameaçar. Encontraram um sistema com fragilidades documentadas há mais de uma década, relativas a reprodutibilidade, flexibilidade analítica, vies de publicação e critérios de

progressão que premiam volume. A tecnologia amplifica o que já existia, e tratá-la como causa desloca a atenção da configuração que a torna atraente.

O segundo é que a distinção entre categorias de uso é condição de aplicabilidade de qualquer política. Apoio linguístico, participação na redação e produção de conteúdo factual são situações de natureza distinta, com fundamentos distintos para o tratamento que merecem. Regras genéricas de proibição são descumpridas em silêncio e desmoralizam o regime que pretendiam instituir; regras graduadas podem ser cumpridas e, em alguma medida, verificadas.

O terceiro é que as respostas mais robustas são as que não dependem de confiança na declaração de quem produziu o trabalho. Registro prévio de protocolos, disponibilização de dados e código, e verificação independente de resultados operam mesmo quando a declaração é omitida ou falsa. É por essa razão que a agenda de ciência aberta, concebida antes da difusão dessas ferramentas, oferece a resposta mais adequada a elas.

Importa demarcar até onde a análise alcança. Por tratar-se de ensaio apoiado em revisão narrativa, o capítulo não estabelece a robustez agregada da evidência disponível, não examina instituições ou programas concretos e expressa um recorte entre outros defensáveis. Nenhum valor quantitativo sobre reprodutibilidade, prevalência de má conduta ou uso de ferramentas foi incorporado, opção que preserva a integridade factual ao custo de reduzir a especificidade empírica. As diretrizes editoriais mencionadas têm sido revistas com frequência elevada e correspondem à data de corte da redação. O quadro apresentado é esquema expositivo, não modelo normativo. O que segue vale como interpretação, e não como resultado demonstrado.

Do que foi exposto decorrem três direções de pesquisa. A primeira é o exame empírico dos critérios efetivamente aplicados em decisões de progressão na carreira acadêmica em instituições brasileiras, distinguindo os critérios declarados dos praticados. A segunda é a avaliação do efeito de políticas institucionais sobre uso de ferramentas generativas, comparando as que graduam por categoria com as que proíbem genericamente. A terceira é a investigação sobre condições de orientação na pós-graduação, com atenção à relação entre número de orientandos, tempo dedicado e transmissão efetiva de padrões de conduta em pesquisa.

Enunciado sem rodeios, o argumento é o seguinte: a confiabilidade da ciência nunca dependeu da honestidade individual dos pesquisadores, e sim dos procedimentos que tornam o erro e a fraude detectáveis por terceiros. Ferramentas que produzem texto plausível a custo próximo de zero tornam esses procedimentos mais necessários, não menos. A pergunta que a comunidade acadêmica precisa responder não é como impedir o uso dessas tecnologias, mas se está disposta a arcar com o custo de verificar o que publica.

REFERÊNCIAS

- BAKER, Monya. 1,500 scientists lift the lid on reproducibility. **Nature**, v. 533, n. 7604, p. 452-454, 2016.
- BEALL, Jeffrey. Predatory publishers are corrupting open access. **Nature**, v. 489, n. 7415, p. 179, 2012.
- BENDER, Emily M. et al. On the dangers of stochastic parrots: can language models be too big? In: CONFERENCE ON FAIRNESS, ACCOUNTABILITY, AND TRANSPARENCY, 2021, Nova York. **Proceedings** [...]. Nova York: ACM, 2021. p. 610-623.
- BIRHANE, Abeba et al. Science in the age of large language models. **Nature Reviews Physics**, v. 5, n. 5, p. 277-280, 2023.
- BRASIL. **Lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998**. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais. Brasília, DF: Presidência da República, 1998.
- BRASIL. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018**. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Brasília, DF: Presidência da República, 2018.
- BRASIL. **Lei nº 14.874, de 28 de maio de 2024**. Dispõe sobre a pesquisa com seres humanos e institui o Sistema Nacional de Ética em Pesquisa com Seres Humanos. Brasília, DF: Presidência da República, 2024.
- BRASIL. **Decreto nº 12.651, de 7 de outubro de 2025**. Regulamenta a Lei nº 14.874, de 28 de maio de 2024, que dispõe sobre a pesquisa com seres humanos e institui o Sistema Nacional de Ética em Pesquisa com Seres Humanos. Brasília, DF: Presidência da República, 2025.
- COMMITTEE ON PUBLICATION ETHICS (COPE). **Authorship and AI tools: COPE position statement**. Eastleigh: COPE, 2023.
- CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO (CNPq). **Portaria nº 2.664, de 6 de março de 2026**. Institui a Política de Integridade na Atividade Científica do CNPq. Brasília, DF: CNPq, 2026a.
- CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO (CNPq). **Instrução Normativa nº 16, de 17 de abril de 2026**. Dispõe sobre o tratamento de denúncias relativas a infrações à Política de Integridade na Atividade Científica instituída pelo CNPq. Brasília, DF: CNPq, 2026b.
- CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE (CNS). **Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012**. Aprova diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. Brasília, DF: CNS, 2012.
- CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE (CNS). **Resolução nº 510, de 7 de abril de 2016**. Dispõe sobre as normas aplicáveis a pesquisas em ciências humanas e sociais. Brasília, DF: CNS, 2016.
- DECLARATION ON RESEARCH ASSESSMENT (DORA). **San Francisco Declaration on Research Assessment**. São Francisco: DORA, 2012.
- FANELLI, Daniele. How many scientists fabricate and falsify research? A systematic review and meta-analysis of survey data. **PLoS ONE**, v. 4, n. 5, e5738, 2009.

FRACARO, Adonis Rogério et al. Ciência, tecnologia e inovação: interfaces entre conhecimento acadêmico e desenvolvimento social. In: PAIXÃO, Joelson Lopes da et al. (org.). **Saberes interdisciplinares e multidisciplinares: educação, ciência, sociedade e inovação**. Curitiba: Aurum Editora, 2026. v. 1, p. 50-68.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO (FAPESP). **Código de boas práticas científicas**. São Paulo: FAPESP, 2014.

GRUDNIEWICZ, Agnes et al. Predatory journals: no definition, no defence. **Nature**, v. 576, n. 7786, p. 210-212, 2019.

HICKS, Diana et al. Bibliometrics: the Leiden Manifesto for research metrics. **Nature**, v. 520, n. 7548, p. 429-431, 2015.

INTERNATIONAL COMMITTEE OF MEDICAL JOURNAL EDITORS (ICMJE). **Recommendations for the conduct, reporting, editing, and publication of scholarly work in medical journals**. Atualização de janeiro de 2026.

IOANNIDIS, John P. A. Why most published research findings are false. **PLoS Medicine**, v. 2, n. 8, e124, 2005.

LIANG, Weixin et al. GPT detectors are biased against non-native English writers. **Patterns**, v. 4, n. 7, 100779, 2023. DOI: 10.1016/j.patter.2023.100779.

MERTON, Robert K. The normative structure of science. In: MERTON, Robert K. **The sociology of science: theoretical and empirical investigations**. Chicago: University of Chicago Press, 1973. p. 267-278.

MOHER, David et al. Assessing scientists for hiring, promotion, and tenure. **PLoS Biology**, v. 16, n. 3, e2004089, 2018.

MUNAFÒ, Marcus R. et al. A manifesto for reproducible science. **Nature Human Behaviour**, v. 1, n. 1, 0021, 2017.

NATURE. Tools such as ChatGPT threaten transparent science: here are our ground rules for their use. **Nature**, v. 613, n. 7945, p. 612, 2023. Editorial.

NOSEK, Brian A. et al. Promoting an open research culture. **Science**, v. 348, n. 6242, p. 1422-1425, 2015.

OPEN SCIENCE COLLABORATION. Estimating the reproducibility of psychological science. **Science**, v. 349, n. 6251, aac4716, 2015.

PAIXÃO, Joelson Lopes da et al. Inteligência artificial e autoria acadêmica: implicações éticas, epistemológicas e normativas para a produção científica contemporânea. **Revista OWL**, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 1-19, 2026. DOI: 10.5281/zenodo.18916707. Disponível em: <https://revistaowl.com.br/index.php/owl/article/view/569>. Acesso em: 5 set. 2026.

SIMMONS, Joseph P.; NELSON, Leif D.; SIMONSOHN, Uri. False-positive psychology: undisclosed flexibility in data collection and analysis allows presenting anything as significant. **Psychological Science**, v. 22, n. 11, p. 1359-1366, 2011.

SUBER, Peter. **Open access**. Cambridge: MIT Press, 2012.

UNESCO. **Guidance for generative AI in education and research**. Paris: UNESCO, 2023.

WILSDON, James et al. **The metric tide**: report of the independent review of the role of metrics in research assessment and management. Bristol: HEFCE, 2015.

POSFÁCIO

Chegado ao fim do volume, o leitor terá percebido que uma pergunta reaparece nos onze capítulos sob formulações distintas: quem se beneficia?

Ela aparece na análise urbana, quando se observa que territórios menos instrumentados produzem menos dados, que menos dados significam menor visibilidade institucional e que menor visibilidade tende a se traduzir em menor prioridade de investimento. É um ciclo que se realimenta sem que seu resultado tenha sido deliberadamente assumido por alguém, embora decorra do acúmulo de decisões institucionais rastreáveis. Aparece na saúde, no caso examinado no capítulo dedicado à saúde, em que um algoritmo amplamente utilizado para identificar pacientes com necessidade de acompanhamento subestimava sistematicamente essa necessidade em pacientes negros, porque adotara gasto assistencial prévio como variável de referência, e menor gasto refletia menor acesso, não menor gravidade (OBERMEYER *et al.*, 2019). Aparece na agricultura, quando se constata que a mesma tecnologia produz retorno em operações de escala e permanece economicamente inacessível em áreas menores, de modo que sua difusão amplia a diferença entre quem já tinha acesso e quem não tinha. Aparece no trabalho, quando se observa que ganhos de produtividade podem ser apropriados como maior remuneração do capital, redução de preços, aumento de salários ou redução de jornada, e que a escolha entre essas formas não é técnica. E aparece na própria produção do conhecimento, onde a confiabilidade do que se publica sustenta decisões tomadas por quem não tem como verificá-las, de modo que a erosão dessa confiabilidade atinge sobretudo quem depende da certificação acadêmica sem participar de sua produção.

Em nenhum desses casos o resultado decorreu de propriedade intrínseca da tecnologia envolvida. Decorreu de decisões: sobre onde instalar sensores, sobre qual variável usar como referência em um modelo, sobre que crédito oferecer a quem, sobre como repartir ganhos. Decisões que poderiam ter sido outras, tomadas em instâncias identificáveis, dentro de instituições que poderiam ter sido organizadas de modo diferente.

Essa constatação é a contribuição mais consequente que este volume pretende oferecer, e vale explicitá-la sem rodeios. **A tecnologia disponível não determina quem se beneficia dela.** Essa distribuição resulta de arranjos institucionais, contratos, políticas públicas, critérios de avaliação, formas de participação e desenhos de responsabilidade. Atribuir o resultado à tecnologia é uma forma de não examinar quem o decidiu, e por isso mesmo tem sido uma operação retórica atraente para quem decide.

Do reconhecimento disso decorre uma consequência que talvez incomode. Se os efeitos das transformações em curso dependem de escolhas, então não há como discuti-los sem discutir poder. Ampliar a transparência de processos decisórios, incluir os afetados na formulação das decisões e não apenas em sua validação, submeter escolhas a avaliação de impacto desagregada e constituir instâncias com competência técnica e mandato para verificar são medidas que alteram distribuições de poder existentes. A resistência que encontram não decorre de incompreensão técnica. Decorre de conflito de interesses, legítimo em uma sociedade plural, e tratá-las como recomendações gerenciais cuja adoção dependeria apenas de convencimento subestima a natureza política do problema.

Há um limite que este volume não ultrapassa, e é honesto declará-lo no fecho. Os onze capítulos são teóricos. Analisam categorias, distinções e condições, apoiados em literatura, e mobilizam com atenção o quadro normativo brasileiro em matéria de política urbana, recursos hídricos, educação, saúde, proteção de dados, regulação da inteligência artificial, contratação pública, relações de trabalho, ética em pesquisa e integridade científica. Não realizam, contudo, investigação empírica própria, nem acompanham longitudinalmente implementações concretas. Boa parte da literatura mobilizada foi produzida em contextos institucionais com estruturas de financiamento, níveis de formalização e capacidades estatais distintos dos nossos, e a transposição de suas conclusões exige mediação que os capítulos sinalizam mas

não realizam. A investigação empírica sobre como essas dinâmicas operam em cidades, escolas, universidades, hospitais, propriedades rurais, tribunais e organizações brasileiras permanece agenda aberta, e é agenda urgente.

Resta uma nota sobre o tom. Ao insistir em condições, limites e efeitos distributivos, uma obra corre o risco de soar pessimista. Não é a disposição que a orienta. As tecnologias examinadas aqui ampliam capacidades reais: detectar uma falha antes que produza interrupção, identificar uma alteração clínica antes que se torne evento agudo, ajustar a aplicação de um insumo à necessidade efetiva de cada ponto de uma lavoura, tornar acessível a quem vive longe um serviço que exigiria deslocamento. São ganhos concretos, e nada neste volume os nega.

O que se sustenta é apenas que eles não se distribuem sozinhos. A pergunta com que a obra se encerra é a mesma com que começou, e ela não é técnica: que futuro estamos construindo, com que recursos, para quem, e quem responde pelo que estamos decidindo agora.

Esta é uma pergunta que nenhum sistema responde. Ela pertence, integralmente, a nós.

Os organizadores.

REFERÊNCIA CITADA

OBERMEYER, Ziad et al. Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations. **Science**, v. 366, n. 6464, p. 447-453, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aax2342>.

REALIZAÇÃO:

Aurum
EDITORA

CNPJ: 589029480001-12
contato@aurumeditora.com
(41) 98792-9544
Curitiba - Paraná
www.aurumeditora.com